



TUGAS AKHIR - TE 141599

**SISTEM SENSOR GAS ELEKTROKIMIA CO DAN NO
YANG DIIMPLEMENTASIKAN PADA
MIKROKONTROLLER *ARDUINO DUE***

Andrianto
NRP 07111340000004

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**SISTEM SENSOR GAS ELEKTROKIMIA CO DAN NO
YANG DIIMPLEMENTASIKAN PADA
MIKROKONTROLLER *ARDUINO DUE***

Andrianto
NRP 07111340000004

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

***ELECTROCHEMICAL CO AND NO GAS SENSORS
SYSTEM IMPLEMENTED ON ARDUINO DUE
MICROCONTROLLER***

Andrianto
NRP 07111340000004

Advisor
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

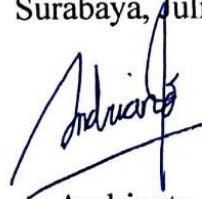
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Sistem Sensor Gas Elektrokimia CO dan NO yang Diimplementasikan pada Mikrokontroller Arduino Due” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrianto', with a long horizontal stroke extending to the right.

Andrianto

NRP. 07111340000004

**SISTEM SENSOR GAS ELEKTROKIMIA CO DAN
NO YANG DIIMPLEMENTASIKAN PADA
MIKROKONTROLLER ARDUINO DUE**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

NIP. 196904261994031003



SISTEM SENSOR GAS ELEKTROKIMIA CO DAN NO YANG DIIMPLEMENTASIKAN PADA MIKROKONTROLLER ARDUINO DUE

Nama : Andrianto
Pembimbing I : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.

ABSTRAK

Polusi udara pada wilayah perkotaan di Indonesia mengandung banyak gas yang membahayakan bagi kesehatan. Polusi udara yang sering kita alami sebagian besar dikarenakan oleh kendaraan bermotor dan asap rokok. Paparan gas seperti Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Oksida Nitrat (NO), Tar, Nikotin dari kendaraan bermotor dan asap rokok dapat menyebabkan munculnya berbagai penyakit pernapasan. Asma dan PPOK (Penyakit Paru Obstruktif Kronis) merupakan penyakit pernafasan kronis yang sering dijumpai pada masyarakat Indonesia. Penyakit asma ini sering ditemukan pada masa anak-anak tetapi akan sulit dideteksi pada anak dibawah umur 6 tahun dengan menggunakan spirometer. Kandungan gas CO dan NO pada penderita asma dan PPOK akan lebih tinggi daripada orang normal sehingga diperlukan sistem pendeteksi gas-gas tersebut. Pada sistem sensor gas ini akan digunakan sensor dengan tipe CO-B4 untuk mendeteksi CO dan NO-B4 untuk mendeteksi NO. Sensor ini dapat mendeteksi kadar gas yang kecil namun keluaran sensor yang sangat kecil ini sering terpendam oleh *noise* sehingga diperlukan proses *digital low pass filter* (LPF) dengan frekuensi cutoff 5Hz untuk menghilangkan *noise*. LPF diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino Due. Hasil dari pembacaan sensor akan divisualisasikan pada LCD TFT. Sistem sensor gas elektrokimia ini dapat digunakan untuk monitoring polusi udara di Surabaya dengan rata-rata kadar gas CO 38,65 ppm dan NO 13,26 ppm. Dan mendeteksi kadar CO dan NO pada pernapasan perokok dan bukan perokok, kadar CO dan NO pada perokok 13,32 ppm dan 1,33 ppm sedangkan pada bukan perokok 4,1 ppm dan 1,36 ppm.

Kata kunci: Arduino Due, *Liquid Crystal Display Thin Film Transistor* (LCD TFT), *Low Pass Filter* (LPF), Sensor Gas Elektrokimia.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ELECTROCHEMICAL CO AND NO GAS SENSORS SYSTEM IMPLEMENTED ON ARDUINO DUE MICROCONTROLLER

Name : ***Andrianto***

1st Advisor : ***Dr. Muhammad Rivai, ST., M.T.***

ABSTRACT

Air pollution in urban areas in Indonesia contains many gases that are harmful for health. Air pollution that we often experience mostly due to vehicle exhaust fumes and cigarette smoke. Exposure to gases such as Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂), Nitric Oxide (NO), Tar, Nicotine from vehicle exhaust fumes and cigarette smoke can lead to various respiratory diseases. Asthma and COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) are chronic respiratory illness that is often found in Indonesia. Asthma is commonly found in children but will be difficult to detect in children under 6 years old using a spirometer. CO and NO gas levels in people with asthma and COPD will be higher than normal people so that the detection system of these gases is needed. In this gas sensors system, sensor with type CO-B4 to detect CO and NO-B4 to detect NO, will be used. These sensors can detect small gas levels but these very small sensor outputs are often buried by noise, so a digital low pass filter (LPF) with cutoff frequency 5Hz process is required to eliminate noise. LPF is implemented on Arduino Due microcontroller. Results from the sensor readings will be visualized on the TFT LCD. This electrochemical gas sensor system can be used for air pollution monitoring in Surabaya with the average CO 38,65 ppm and NO 13,26 ppm. And detect CO and NO levels in smokers and non-smokers respiration, CO and NO levels in smokers 13,32 ppm and 1.33 ppm whereas in non-smokers 4,1 ppm and 1,36 ppm.

Keywords: *Arduino Due, Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT LCD), Low Pass Filter (LPF), Electrochemical Gas Sensor.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Y.M.E karena berkat dan rahmatnya selama ini penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini:

- Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan kepala laboratorium elektronika industri, yang tanpa bimbingan beliau, mungkin tugas akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik.
- Ir. Dr. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc., Ir. Totok Mujiono, M.IKom.,Dr.Eng., Ir. Harris Pringadi, MT., Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng, PhD. selaku dosen penguji, yang memberikan banyak masukan dan pengarahan sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan baik.
- Ayah, Ibu, kakak, adik dan serta seluruh keluarga yang memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
- Bapak Ir. Tasripan, MT. selaku dosen wali.
- Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya.
- Seluruh dosen bidang studi elektronika dan seluruh dosen Teknik Elektro ITS.
- Teman-teman asisten laboratorium elektronika yang sudah memberi dukungan.

Akhir kata, seperti kata pepatah, “tidak ada gading yang tak retak”, penulis sepenuhnya menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, dan mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila masih terdapat kesalahan dalam penulisan tugas akhir ini. Penulis berharap bahwa tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi rekan-rekan yang akan melanjutkan riset di bidang elektronika.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi.....	4
BAB II	
TEORI PENUNJANG	5
2.1 Sensor Gas Elektrokimia.....	5
2.2 Arduino Due	6
2.3 Filter Digital IIR	9
BAB III	
PERANCANGAN SISTEM	11
3.1 Diagram Blok Sistem	11
3.2 Perancangan Perangkat Keras	12
3.2.1 Sensor Gas Elektrokimia.....	12
3.2.2 Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	13
3.2.3 Ruang Uji Gas.....	13
3.2.4 Pompa Udara.....	13
3.2.5 <i>Buck Converter</i>	14
3.2.6 Arduino Due	14
3.2.7 Komputer	14
3.2.8 LCD TFT	14
3.3 Perancangan Perangkat Lunak	15
3.3.1 ADC Sensor Gas Elektrokimia	15

3.3.2 Perangkat Lunak <i>Low Pass Filter Butterworth Orde 2</i>	15
3.4 Kalibrasi Sensor Gas Elektrokimia	18
BAB IV	
PENGUJIAN DAN ANALISIS	19
4.1 Pengujian Sensor	20
4.2 Kalibrasi Sensor	21
4.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal	23
4.4 Pengujian <i>Software</i>	25
4.5 Pengujian Sistem	27
4.5.1 Pengujian pada Jalan Raya	27
4.5.2 Pengujian pada Perokok	31
BAB V	
PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN A	53
LAMPIRAN B	63
LAMPIRAN C	64
LAMPIRAN D	65
RIWAYAT PENULIS	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Sensor Gas Elektrokimia.....	5
Gambar 2.2 Reaksi pada Sensor Gas Elektrokimia.....	6
Gambar 2.3 Arduino Due.....	8
Gambar 2.4 Diagram Pinout <i>Arduino Due</i>	8
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem.....	11
Gambar 3.2 Diagram Blok Perangkat Keras.....	12
Gambar 3.3 Sensor Gas CO-B4 dan NO-B4.....	12
Gambar 3.4 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Gas Elektrokimia dengan <i>Single Supply</i>	13
Gambar 3.5 Diagram Blok Ruang Uji Gas.....	13
Gambar 3.6 Pompa Angin.....	14
Gambar 3.7 <i>Buck Converter</i>	14
Gambar 3.8 Diagram Blok Perangkat Lunak.....	16
Gambar 3.9 Flowchart dari Digital LPF	17
Gambar 3.10 Perancangan Kalibrasi Sensor CO.....	18
Gambar 4.1 Realisasi Perangkat Keras Sistem Sensor Gas Elektrokimia.....	19
Gambar 4.2 Realisasi Sensor CO-B4 & NO-B4 dan Ruang Uji Gas..	20
Gambar 4.3 Respon Sensor CO-B4 pada Arduino IDE.....	20
Gambar 4.4 Respon Sensor NO-B4 pada Arduino IDE.....	21
Gambar 4.5 Respon Sensor pada Program <i>Delphi</i>	21
Gambar 4.6 Kalibrasi Sensor CO-B4 dengan CO meter.....	22
Gambar 4.7 Realisasi Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	24
Gambar 4.8 Output Penguat dari Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	24
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Sensor CO.....	25
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Sensor NO.....	25
Gambar 4.11 Grafik Kadar CO.....	26
Gambar 4.12 Grafik Kadar NO.....	26
Gambar 4.13 Grafik Data Sensor Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 11.00.....	27
Gambar 4.14 Grafik Kadar Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 11.00.....	28
Gambar 4.15 Grafik Data Sensor Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 18.00.....	28
Gambar 4.16 Grafik Kadar Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 18.00....	29
Gambar 4.17 Grafik CO Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00....	29
Gambar 4.18 Grafik NO Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00....	30

Gambar 4.19 Grafik Kadar Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00.....	30
Gambar 4.20 Grafik CO Subjek A Perokok Setelah Merokok.....	32
Gambar 4.21 Grafik NO Subjek A Perokok Setelah Merokok.....	32
Gambar 4.22 Grafik Kadar Subjek A Perokok Setelah Merokok.....	33
Gambar 4.23 Grafik CO Subjek B Perokok Setelah Merokok.....	33
Gambar 4.24 Grafik NO Subjek B Perokok Setelah Merokok.....	34
Gambar 4.25 Grafik Kadar Subjek B Perokok Setelah Merokok.....	34
Gambar 4.26 Grafik CO Subjek C Perokok Setelah Merokok.....	35
Gambar 4.27 Grafik NO Subjek C Perokok Setelah Merokok.....	35
Gambar 4.28 Grafik Kadar Subjek C Perokok Setelah Merokok.....	36
Gambar 4.29 Grafik CO Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	37
Gambar 4.30 Grafik NO Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	37
Gambar 4.31 Grafik Kadar Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	38
Gambar 4.32 Grafik CO Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	38
Gambar 4.33 Grafik NO Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	39
Gambar 4.34 Grafik Kadar Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	39
Gambar 4.35 Grafik CO Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	40
Gambar 4.36 Grafik NO Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	40
Gambar 4.37 Grafik Kadar Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	41
Gambar 4.38 Grafik CO Subjek A Bukan Perokok.....	42
Gambar 4.39 Grafik NO Subjek A Bukan Perokok.....	42
Gambar 4.40 Grafik Kadar Subjek A Bukan Perokok.....	43
Gambar 4.41 Grafik CO Subjek B Bukan Perokok.....	43
Gambar 4.42 Grafik NO Subjek B Bukan Perokok.....	44
Gambar 4.43 Grafik Kadar Subjek B Bukan Perokok.....	44
Gambar 4.44 Grafik CO Subjek C Bukan Perokok.....	45
Gambar 4.45 Grafik NO Subjek C Bukan Perokok.....	45
Gambar 4.46 Grafik Kadar Subjek C Bukan Perokok.....	46
Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Subjek Perokok.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia...	1
Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor CO dengan CO Meter Percobaan 1.....	22
Tabel 4.2 Kalibrasi Sensor CO dengan CO Meter Percobaan 2.....	23
Tabel 4.3 Kadar Gas Polusi Kendaraan Bermotor.....	31
Tabel 4.4 Kadar CO dan NO Subjek Perokok Setelah Merokok.....	36
Tabel 4.5 Kadar CO dan NO Subjek Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam.....	41
Tabel 4.6 Kadar CO dan NO Subjek Bukan Perokok.....	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Polusi udara di wilayah perkotaan di beberapa kota besar di Indonesia beberapa tahun belakangan ini mempunyai kondisi yang sudah memprihatinkan. Udaranya telah dipenuhi oleh asap yang mengandung gas-gas yang berbahaya bagi kesehatan. Salah satu pemicu utama dari kondisi tersebut adalah jumlah kendaraan bermotor. Sebagai sumber utama polusi udara di perkotaan, kendaraan bermotor telah meningkat jumlahnya dengan tajam dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor selama satu tahun (2015-2016) mencapai 7 juta menurut data bada pusat statistik Indonesia (BPS).

Kendaraan bermotor mengeluarkan berbagai jenis gas maupun partikel yang terdiri dari berbagai senyawa anorganik dan organik dengan berat molekul yang besar yang dapat langsung terhirup melalui hidung. Selain polusi udara dikarenakan oleh kendaraan bermotor juga terdapat polusi udara dikarenakan asap rokok.

Seperti yang kita ketahui bersama bahwasannya rokok merupakan sesuatu hal yang sangat disukai oleh masyarakat laki- laki di Indonesia. Banyak sekali orang atau kaum pria di Indonesia ini yang merokok tanpa memikirkan resiko yang akan terjadi masa yang akan datang. Asap rokok mengandung ribuan zat kimia, komponen asap yang paling dikenal adalah tar, nikotin, dan karbon monoksida (CO).

Polusi udara yang merupakan proses pencemaran pada udara ini tentu saja mempunyai berbagai dampak yang dapat kita rasakan. Dampak yang ditimbulkan oleh polusi udara ini tentu saja merupakan dampak yang bersifat negatif. Adapun dampak utama dari adanya polusi udara adalah gangguan pernafasan seperti misal gangguan paru- paru. Penyakit asma merupakan salah satu penyakit yang berhubungan dengan paru- paru dan sering timbul ketika menghirup udara yang kotor selama beberapa waktu.

Tabel 1.1 Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia

Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah Kendaraan Bermotor (Unit)						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mobil Penumpang	8891041	9548866	10432259	11484514	12599038	13480973	14580666
Mobil Bis	2250109	2254406	2273821	2286309	2398846	2420917	2486898
Mobil Barang	4687789	4958738	5286061	5615494	6235136	6611028	7063433
Sepeda motor	61078188	68839341	76381183	84732652	92976240	98881267	105150082
Jumlah	76907127	85601351	94373324	104118969	114209260	121394185	129281079

Adanya oksida nitrat (NO) dan karbon monoksida (CO) pada nafas telah diidentifikasi sebagai biomarker asma dan PPOK (Penyakit Paru Obstruktif Kronis). NO yang dihembuskan dapat dikaitkan dengan asma dan sensitisasi terhadap alergen. NO yang dihembuskan lebih unggul dari pedoman lain yang lebih diterima, termasuk fungsi pernapasan awal dan respon terhadap bronkodilator, dalam mengidentifikasi anak-anak dengan asma [1]. NO yang dihembuskan juga berkorelasi langsung dengan tingkat asma yang tidak diobati dan mengalami penurunan dengan pengobatan kortikosteroid.

Kadar CO yang meningkat telah diukur pada penderita asma, namun secara umum elevasi CO pada nafas penderita asma dibandingkan dengan subjek normal kurang dari nilai NO. Untuk pasien dengan PPOK, karbon monoksida juga bisa menjadi indikator penyakit yang berguna, kecuali pasien PPOK yang merokok karena merokok menyebabkan CO napas tinggi. Dalam sebuah makalah tinjauan baru-baru ini, CO yang dihembuskan meningkat pada penyakit saluran pernapasan, walaupun kegunaannya sebagai biomarker penyakit saluran nafas masih terbuka dan penelitian lebih lanjut diperlukan [2].

Diagnosis asma dan PPOK secara konvensional masih menggunakan tes fungsi paru-paru seperti spirometri dan *peak flow meter*, bersamaan dengan gejala yang dikeluhkan. Spirometer mengukur seberapa banyak dan seberapa cepat pasien bisa mengeluarkan udara dari paru-paru setelah menarik napas dalam-dalam. Namun dengan menggunakan tes ini tidak dapat digunakan dengan anak-anak di bawah usia 6 tahun, memiliki sensitivitas yang rendah dan tidak spesifik [3].

Berdasarkan referensi diatas, keberadaan CO dan NO dapat digunakan sebagai parameter untuk mendiagnosa penderita asma atau gangguan pernapasan lainnya. Sehingga pada penelitian ini akan dibuat sistem sensor gas elektrokimia untuk mendeteksi CO dan NO yang ada pada pernapasan.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Jenis sensor yang akan digunakan untuk mendeteksi gas CO dan NO.
2. Bagaimana cara mendapatkan sinyal sensor yang terkubur oleh *noise*.
3. Bagaimana cara mengimplementasikan proses *digital low pass filter*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Menggunakan sensor gas elektrokimia CO-B4 untuk mendeteksi gas CO dan NO-B4 untuk mendeteksi gas NO.
2. Mengimplementasikan *digital low pass filter* dalam sistem sensor gas elektrokimia.
3. Mengimplementasikan pada *Arduino Due*.

1.4. Batasan Masalah

1. Gas yang dimonitoring hanya karbon monoksida dan oksida nitrat dari gas buang kendaraan bermotor dan asap rokok.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor gas elektrokimia CO-B4 dan NO-B4.

1.5. Metodologi

Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur Sensor
Tahap ini meliputi pengumpulan dasar teori tentang sensor gas elektrokimia CO-B4 dan NO-B4. Dasar teori akan diambil dari buku – buku, jurnal yang telah dipublikasi, *proceeding* dan artikel dari internet.
2. Perancangan Sistem *Hardware*
Tahap ini meliputi perancangan alat yang dapat memonitoring kadar gas CO dan NO, rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor gas elektrokimia, *Arduino due* sebagai mikrokontroler, visualisasi dengan LCD TFT.
3. Perancangan Sistem Sensor Gas Elektrokimia
Sensor gas yang digunakan adalah CO-B4 dan NO-B4 dimana keluarannya sangat kecil sehingga diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal untuk menguatkan keluaran pada sensor gas elektrokimia jenis ini
4. Perancangan Sistem *Low Pass Filter*
Pertama akan dilakukan pembacaan keluaran sensor yang masuk ke pin ADC pada *Arduino Due*. Kemudian sinyal tersebut di filter

menggunakan digital *low pass filter* Butterworth yang akan dilakukan pengaturan frekuensi *cut-off* sampai menghasilkan dengan noise yang sedikit dan apabila sudah didapatkan sinyal asli dari sensor proses dihentikan

5. Pengujian Sistem

Tahapan pengujian sistem akan dilakukan dalam tahap, yaitu:

- Pengujian rangkaian sensor gas elektrokimia CO dan NO
- Pengujian *digital low pass filter*
- Pengujian sistem keseluruhan pada osiloskop dan komputer
- Pengambilan data

6. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Setelah dilakukan segala percobaan dan pengambilan data, maka akan dilakukan penulisan laporan tugas akhir yang final.

7. Penulisan Makalah Jurnal POMITS

Penulisan jurnal ilmiah berdasarkan data hasil penelitian tugas akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

- | | |
|---------|---|
| BAB I | Pendahuluan akan membahas latar belakang, tujuan, masalah, metode penelitian, sistematika, pembahasan, dan relevansi. |
| BAB II | Teori penunjang dan literatur yang berkaitan bagi tugas akhir ini. |
| BAB III | Perencanaan alat baik <i>hardware</i> maupun <i>software</i> . |
| BAB IV | Hasil percobaan dan temuan – temuan alat dibahas pada bab ini. |
| BAB V | Penutup berisi kesimpulan yang diperoleh dari tugas akhir ini, serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut. |

1.7. Relevansi

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai alat pendeteksi kadar CO dan NO.
2. Sebagai dasar penelitian lebih lanjut, agar dapat dikembangkan.

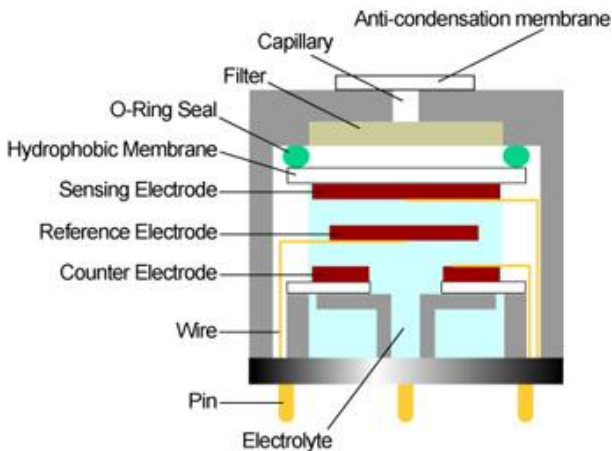
BAB II

TEORI PENUNJANG

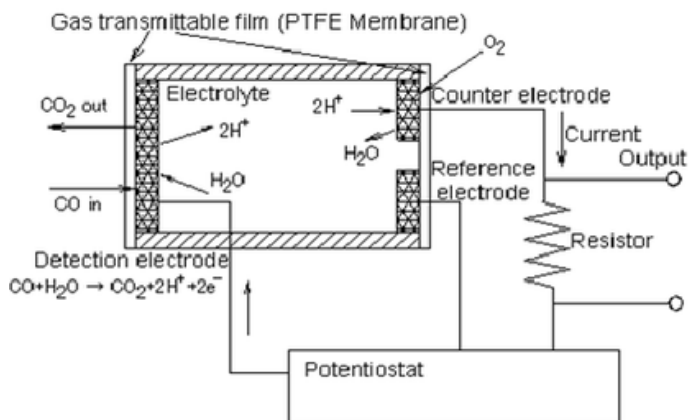
2.1 Sensor Gas Elektrokimia

Sensor gas elektrokimia adalah detektor yang mengukur konsentrasi gas target dengan mengoksidasi atau mengurangi gas target pada elektroda dan mengukur arus yang dihasilkan. Kebanyakan sensor gas elektrokimia adalah sensor amperometrik, menghasilkan arus yang berbanding lurus dengan konsentrasi gas. Arus ini secara kuantitatif terkait dengan laju proses elektrolitik pada elektroda *sensing (working)* yang potensinya diseimbangkan konstan menggunakan elektroda referensi [4]. Sensor gas elektrokimia terdiri dari anoda, katoda, dan elektrolit. Komponen sel dipilih sedemikian rupa sehingga gas sasaran dibiarkan berdifusi ke dalam sel, yang menyebabkan reaksi kimia dan menghasilkan arus.

Sensor gas elektrokimia memiliki elektroda *sensing* (atau elektroda *work*) dan elektroda *counter* yang dipisahkan oleh lapisan tipis elektrolit / katalis. Gas yang bersentuhan dengan sensor terlebih dahulu melewati bukaan tipe kapiler kecil dan kemudian berdifusi melalui penghalang hidrofobik, dan akhirnya mencapai permukaan elektroda [5].



Gambar 2.1 Struktur Sensor Gas Elektrokimia



Gambar 2.2 Reaksi pada Sensor Gas Elektrokimia

Pendekatan ini diadopsi untuk memungkinkan jumlah yang tepat dari gas untuk bereaksi pada elektroda penginderaan untuk menghasilkan sinyal listrik yang cukup. Gas yang berdifusi melalui penghalang bereaksi pada permukaan elektroda penginderaan yang melibatkan mekanisme oksidasi (CO, H₂S, NO, SO₂ dll) atau reduksi (NO₂ dan Cl₂).

Elektroda *counter* berfungsi menyeimbangkan reaksi elektroda *sensing*, jika elektroda *sensing* mengoksidasi gas, maka elektroda *counter* harus mengurangi beberapa molekul lain untuk menghasilkan arus ekuivalen [6].

Reaksi kimia dijelaskan pada reaksi berikut ini:

Pada elektroda *sensing* : $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Pada elektroda *counter* : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Reaksi semua sel : $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$

Elektroda referensi berfungsi untuk mempertahankan potensi elektroda penginderaan pada nilai tetap. Untuk tujuan ini dan umumnya untuk operasi sensor elektrokimia diperlukan rangkaian potentiostatik.

2.2 Arduino Due

Arduino Due merupakan produk baru dari Arduino selain Arduino Zero, Arduino ini berbasis pada CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Ini adalah board Arduino pertama yang berbasis pada mikrokontroler inti ARM 32 bit yang dapat diprogram melalui Arduino IDE[7]. Arduino

Due sudah banyak digunakan, seperti sebagai *Audio Beam Steering*[8], *kontroller output boost* dan *buck converter*[9], pendeteksi tegangan[10], filter digital[11], akuisisi data ECG[12], dll.

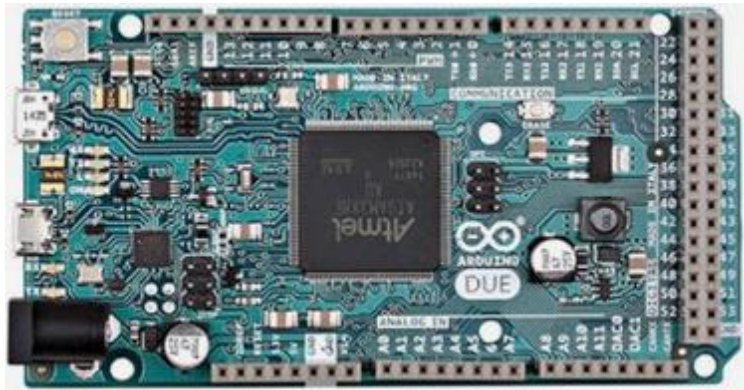
Arduino Due memiliki 54 pin input / output digital (dimana 12 dapat digunakan sebagai output PWM), 12 input analog, 4 UART (port serial perangkat keras), clock 84 MHz, koneksi USB-OTG, 2 DAC (digital ke analog), 2 TWI, jack power, header SPI, header JTAG, tombol reset dan tombol hapus. Ada juga beberapa fitur lainnya seperti DAC, Audio, DMA, multitasking library dan banyak lagi.

Mikrokontroler yang terpasang pada Arduino Due berjalan pada 3.3V, ini berarti dapat memberi daya pada sensor Anda dan mengarahkan aktuator dengan 3.3V. Board ini dapat disuplai dari konektor USB atau jack DC. Jika menggunakan konektor DC, dapat berikan voltase antara 7V dan 12V.

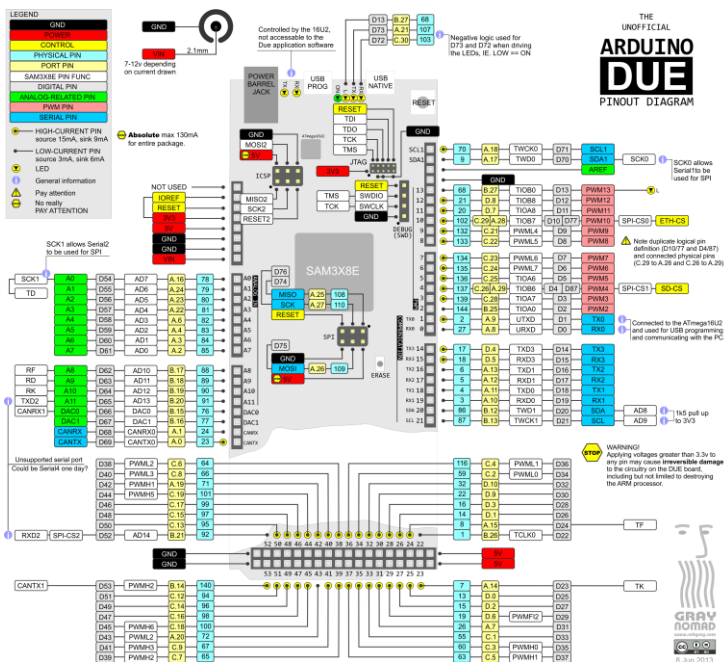
Arduino Due memiliki regulator tegangan switching, sesuai dengan spesifikasi host USB. Jika port USB digunakan sebagai host dengan memasang perangkat USB ke konektor usb mirco-A, board akan memberi kekuatan pada perangkat. Bila board digunakan sebagai host usb, diperlukan daya eksternal dari konektor DC.

Fitur-fitur pada Arduino Due:

- Mikrokontroler: AT91SAM3X8E
- Tegangan Operasi: 3.3V
- Tegangan Masukan yang Disarankan: 7-12V
- Tegangan Input Min-Max: 6-20V
- Pin Digital I/O: 54 (yang 12 memberikan output PWM)
- Analog Input Pins: 12
- Output Analog Pin: 2
- Output DC Total Arus pada semua baris I/O: 130 mA
- Arus DC untuk Pin 3.3V: 800 mA
- Arus DC untuk Pin 5V: 800 mA
- Memori Flash: 512 KB
- SRAM: 96 KB (two banks: 64KB dan 32KB)
- Clock Speed: 84 MHz



Gambar 2.3 Arduino Due



Gambar 2.4 Diagram Pinout Arduino Due[13]

2.3 Filter Digital IIR

Filter digital memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan filter analog, baik dalam performa yang lebih tinggi dengan *transition zone* yang lebih kecil, ketahanan, dan juga fleksibilitas dalam menentukan *range* kerjanya. Karena faktor-faktor ini, filter digital merupakan elemen penting dalam bidang DSP (*Digital Signal Processing*). Pengertian sederhana dari IIR (*Infinite Impulse response*) disini adalah bahwa keluaran filter merupakan fungsi dari kondisi masukan sekarang, masukan sebelumnya dan keluaran di waktu sebelumnya. Konsep ini kita kenal sebagai *recursive filter*, yang mana melibatkan proses *feedback* dan *feedforward*. Filter digital IIR mempunyai beberapa kelebihan diantaranya adalah memiliki hasil desain dengan koefisien yang jauh lebih sedikit dibanding dengan FIR pada orde yang sama. Jadi filter IIR dapat meringankan beban komputasi sehingga proses pengolahan sinyal digital dapat lebih cepat dan tidak banyak menggunakan memori dari mikroprosesor.[14]

Berdasarkan teknik desainnya filter IIR dapat dikategorikan dalam beberapa teknik desain. Teknik desain IIR didasarkan pada transformasi bilinear dari prototype fungsi transfer analog. Fungsi transfer analog biasanya salah satu dari fungsi transfer: Butterworth, Chebisev tipe 1, Chebisev tipe 2, dan Elliptic. Perbedaan antara tipe-tipe filter tersebut dapat dijelaskan dengan melihat filter lolos bawah (*Low Pass Filter / LPF*).

Filter Butterworth adalah sebuah filter yang digunakan untuk memproses signal. Kelebihan utama filter ini adalah desain yang memiliki respon frekuensi yang datar pada bagian *passband* filter. Pada jaman sebelum ini, filter yang biasanya digunakan memiliki *ripple* pada bagian *passband*, yaitu bagian dimana sinyal dapat dilewatkan tanpa gangguan.[15] Butterworth menunjukkan bahwa sebuah filter *low pass* dapat dirancang dengan langkah normalisasi frekuensi *cutoff* menjadi 1 radian per detik dan respon frekuensi yang digunakan adalah:

$$G(\omega) = \sqrt{\frac{1}{1 + \omega^{2n}}} \quad (2.1)$$

dimana, ω adalah frekuensi angular dalam radian per detik, dan n adalah jumlah *pole* pada filter terhadap elemen reaktif dalam filter pasif.

Untuk mendapatkan persamaan filter yang dapat digunakan pada perangkat, dibutuhkan beberapa langkah. Langkah pertama adalah dengan menentukan *analog prototype filter* $H_a(s)$

$$H_a(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1} \quad (2.2)$$

Setelah mendapatkan nilai $H_a(s)$, maka dilakukan transformasi kedalam bentuk $H(s)$ dengan persamaan :

$$H(s) = H_a(s) \Big|_{s \leftarrow \frac{s}{\omega_p}}$$

$$H(s) = \frac{\omega_p^2}{s^2 + \sqrt{2}\omega_p s + \omega_p^2} \quad (2.3)$$

Persamaan filter yang digunakan akan dalam bentuk $H(z)$, maka diperlukan transformasi bilinear terlebih dahulu untuk dapat menurunkan persamaannya kembali, yang dapat digambarkan dengan persamaan:

$$H(z) = H(s) \Big|_{s \leftarrow \frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)}$$

$$H(z) = \frac{\omega_p^2}{\left(\frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) \right)^2 + \sqrt{2}\omega_p \frac{2}{T} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + \omega_p^2} \quad (2.4)$$

Bentuk yang umum dari persamaan filter dalam bentuk transformasi Z adalah:

$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{Y(z)}{X(z)} \\ \frac{Y(z)}{X(z)} &= \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Nilai $Y(z)$ adalah nilai output dari filter, sedangkan nilai $X(z)$ adalah input dari filter. Nilai pada a_0, a_1, a_2 dan b_0, b_1, b_2 adalah koefisien dari filter. Dari persamaan tersebut, maka untuk mendapatkan persamaan jadi filter ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_0 y(n) &= -b_1 y(n-1) - b_2 y(n-2) + a_0 x(n) \\ &\quad + a_1 x(n-1) + a_2 x(n-2) \end{aligned} \quad (2.6)$$

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas beberapa tahap perancangan sistem sensor gas elektrokimia, yaitu diagram blok sistem, *hardware* sensor gas, perancangan LPF, proses identifikasi gas.

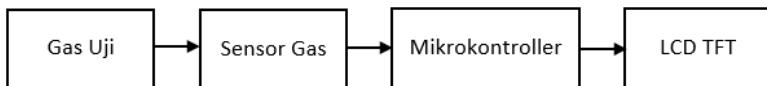
3.1 Diagram Blok Sistem

Pada diagram blok sistem ini akan menjelaskan tentang sistem keseluruhan dari sistem sensor gas elektrokimia. Sistem sensor gas ini akan melakukan pemantauan kadar gas CO dan NO.

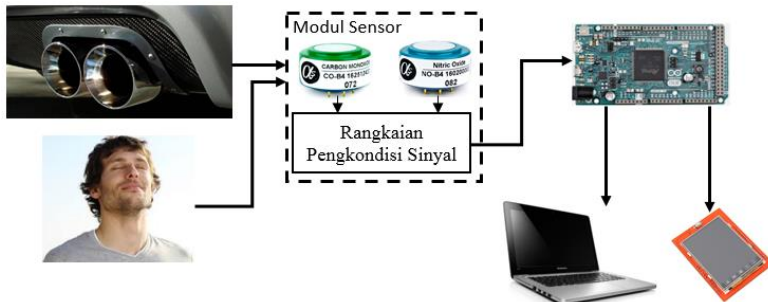
Seperti yang digambarkan pada Gambar 3.1, perancangan keseluruhan sistem akan berjalan seperti pada diagram blok tersebut. Diagram blok secara umum terdiri dari sampel gas uji sebagai masukan, ruang uji gas sebagai tempat pengujian gas, LPF sebagai pemroses sinyal dari sensor, dan visualisasi.

Perangkat keras pada sistem sensor gas elektrokimia terdiri dari :

- Gas Uji
Sampel gas uji yang akan digunakan pada penelitian ini adalah gas sisa pembuangan kendaraan bermotor dan gas sisa dari pernapasan.
- Modul Sensor Gas Elektrokimia
Sensor yang digunakan adalah sensor CO-B4 dan NO-B4, yang digunakan untuk membaca nilai gas CO dan NO.
- Arduino Due
Arduino Due ini digunakan untuk menghitung dan mengolah semua data dari sensor dan visualisasi.
- LCD TFT
LCD TFT digunakan untuk visualisasi nilai dari sensor gas elektrokimia.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.2 Diagram Blok Perangkat Keras

Sedangkan perangkat lunak dari sistem sensor gas elektrokimia secara umum adalah :

- Perangkat lunak pada mikrokontroler
Pada mikrokontroler, perangkat lunak yang dirancang berfungsi untuk melakukan proses pembacaan ADC, low pass filter dan visualisasi pada LCD TFT.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Pada gambar 3.2 dapat dilihat diagram blok perangkat keras, perangkat keras sistem sensor gas elektrokimia terdiri dari sensor gas elektrokimia yaitu CO-B4 dan NO-B4, ruang uji gas, rangkaian pengkondisi sinyal, pompa, *buck converter*, Arduino due, dan LCD TFT.

3.2.1 Sensor Gas Elektrokimia

Sensor gas CO-B4 dan NO B-4 pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi nilai karbon monoksida dan nitrat oksida. Sensor ini dipilih karena dapat mendeteksi gas yang spesifik dan mampu mendeteksi kadar gas hingga ppb (*parts per billion*).



Gambar 3.3 Sensor Gas CO-B4 dan NO-B4

3.2.2 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

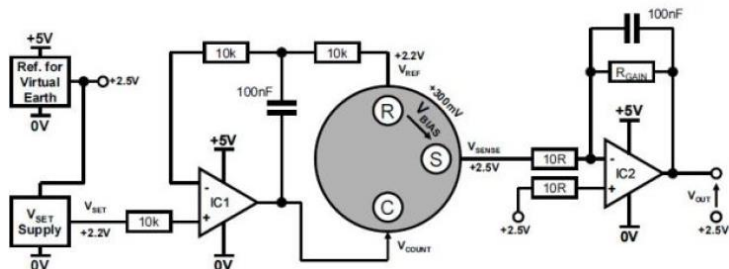
Pada gambar 3.4 merupakan gambar rangkaian pengkondisi sinyal sensor gas elektrokimia. Rangkaian ini berfungsi untuk mengaktifkan sensor dan mengubah arus menjadi tegangan. Perubahan arus menjadi tegangan ini dikarenakan keluaran dari sensor gas ini adalah arus tetapi ADC dari Arduino Due hanya dapat membaca tegangan.

3.2.3 Ruang Uji Gas

Diagram blok ruang uji gas dapat dilihat pada gambar 3.5. Pada tahap ini terdapat pompa udara yang berfungsi menyalurkan udara ke ruang uji gas, sebelum sampel gas masuk ke ruang uji gas, udara akan melewati silika gel yang berfungsi sebagai pengering udara agar udara yang akan diuji tidak mengandung air. Tujuan dari pengeringan udara ini agar hasil pengukuran bias presisi dan valid.

3.2.4 Pompa Udara

Pompa udara disini digunakan untuk menarik gas agar masuk ke ruang uji gas dan juga untuk mengosongkan ruang uji gas.



Gambar 3.4 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Gas Elektrokimia dengan Single Supply[15]



Gambar 3.5 Diagram Blok Ruang Uji Gas



Gambar 3.6 Pompa Angin



Gambar 3.7 *Buck Converter*

3.2.5 *Buck Converter*

Buck Converter merupakan komponen yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari *power supply*. Keluaran tegangan dari *buck converter* digunakan untuk mengaktifkan pompa.

3.2.6 *Arduino Due*

Arduino due merupakan *microcontroller* pada sistem sensor gas elektrokimia yang digunakan untuk membaca nilai sensor, LPF, dan visualisasi. Arduino due dipilih karena memiliki pin input-output (I/O) yang cukup banyak, dan memiliki timer yang cukup tinggi.

3.2.7 *Komputer*

Komputer pada penelitian ini digunakan sebagai interface dari sinyal dengan program delphi, delphi digunakan untuk melihat keluaran sensor yang sudah melalui proses LPF dan juga sinyal sensor gas asli (tanpa LPF).

3.2.8 *LCD TFT*

TFT LCD (*Thin film transistor liquid crystal display*) adalah varian dari LCD yang menggunakan teknologi *Thin Film Transistor* (TFT) untuk

meningkatkan kualitas gambar seperti addressability dan kontras. Pada penelitian ini LCD TFT digunakan sebagai visualisasi kadar CO dan NO dari pembacaan sensor gas elektrokimia.

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada gambar 3.8 dapat dilihat diagram blok dari perangkat lunak sistem sensor gas elektrokimia. Pada bab ini perangkat lunak hanya menggunakan Arduino Due untuk melakukan proses ADC pada sensor, LPF, dan visualisasi.

3.3.1 ADC Sensor Gas Elektrokimia

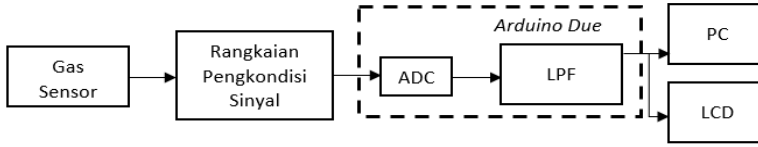
Sensor gas elektrokimia memiliki nilai keluaran berupa ADC. Nilai ADC tersebut akan dikonversi ke dalam PPM, maka diperlukan data berupa Vout dari sensor gas CO dan NO. ADC tersebut nantinya diproses oleh arduino yang memiliki ADC 12 bit. Perhitungan tegangan ADC (*Analog Digital Converter*) dapat dirumuskan pada persamaan:

$$Tegangan\ ADC = \frac{V_{in} \times 4095}{V_{ref}} \quad (3.1)$$

3.3.2 Perangkat Lunak Low Pass Filter Butterworth Orde 2

Filter ini digunakan untuk meredam *noise* yang dihasilkan dari keluaran sensor. Pada perangkat ini, akan digunakan *digital butterworth lowpass filter* orde 2 untuk meredam *noise*. Dipilihnya filter tipe ini dikarenakan diturunkan berdasarkan persamaan filter analog, sehingga lebih mudah dalam mengatur respon frekuensi dari filter [16]. Proses ini akan menggunakan filter dengan frekuensi *cutoff* 5 Hz [17]. Penjelasan secara rinci tentang penggunaan filter ini terdapat dalam Bab 2, pada penjelasan filter *butterworth*. Untuk mendapatkan persamaan filter, digunakan persamaan berikut ini:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}} \quad (3.2)$$



Gambar 3.8 Diagram Blok Perangkat Lunak

Nilai $Y(z)$ adalah nilai output pada filter, sedangkan nilai $X(z)$ adalah nilai input. Koefisien yang digunakan pada filter adalah a_0, a_1, a_2 dan b_0, b_1, b_2 . Untuk mendapatkan nilai besaran dari masing – masing koefisien, maka digunakan persamaan berikut ini:

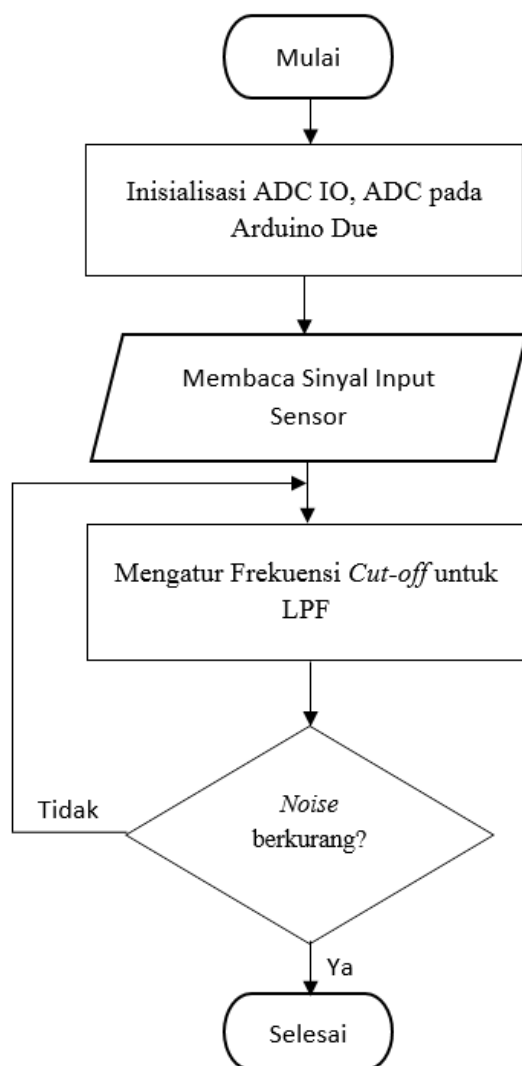
$$a_0 = \frac{\omega_p^2 T^2}{4+2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2}, a_1 = \frac{2\omega_p^2 T^2}{4+2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2}, a_2 = \frac{\omega_p^2 T^2}{4+2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2}$$

$$b_0 = 1, b_1 = \frac{2 \times \omega_p^2 T^2 - 8}{4+2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2}, b_2 = \frac{4-2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2}{4+2\sqrt{2}\omega_p T+\omega_p^2 T^2} \quad (3.3)$$

Maka, dari persamaan diatas, konstanta yang didapatkan akan dimasukan dalam persamaan filter dibawah ini:

$$y(n) = 1.6475 * y(n-1) - 0.7009 * y(n-2) + 0.0134 * x(n) + 0.0267 * x(n-1) + 0.0134 * x(n-2) \quad (3.4)$$

Dalam persamaan ini, y adalah output dari filter, sedangkan x adalah input filter dan n adalah sampel. Karena persamaan ini, maka hasil sinyal yang memiliki frekuensi lebih dari 5 Hz akan di potong. Hasil sinyal sensor yang fluktuatif akan menjadi lebih halus lagi dan dipercaya tidak mengganggu proses pada kalman filter. Sehingga dapat digunakan dengan baik pada perhitungan *preprocessing* selanjutnya.

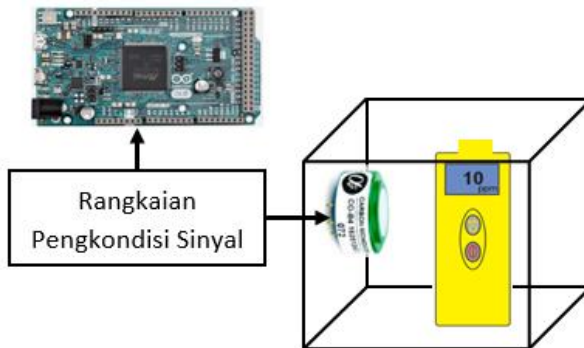


Gambar 3.9 Flowchart dari Digital LPF

3.4 Kalibrasi Sensor Gas Elektrokimia

Modul sensor gas CO-B4 merupakan salah satu jenis sensor gas elektrokimia yang mampu mendeteksi kandungan gas CO (Karbon Monoksida) di udara. Sensor CO-B4 memiliki 3 elektroda dan salah satunya merupakan elektroda *work* yang masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal yang menghasilkan nilai sebagai *input* mikrokontroler Arduino Due. Nilai keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal dari CO-B4 adalah ADC yang mengkonversi hasil tegangan *output* menjadi satuan *part per million* (ppm) maka diperlukan proses kalibrasi [18]. Proses kalibrasi ini memerlukan sensor CO-B4, rangkaian pengkondisi sinyal, Arduino Due, CO-meter, gas CO dari sisa pembuangan mobil, dan wadah untuk mempersempit ruangan dan agar gas CO tidak tercampur dengan gas lainnya. Proses kalibrasi sensor CO-B4 dilakukan seperti gambar 3.4.

Arduino Due pada proses kali ini digunakan untuk membaca data berupa tegangan ADC dari sensor dan CO-meter menampilkan data kadar gas dalam ppm pada wadah tertutup. Data tersebut akan dibandingkan untuk mendapatkan persamaan matematis perbandingan terhadap output dari sensor dan pembacaan pada CO-meter. Persamaan matematis dari pengujian tersebut akan didapatkan menggunakan regresi polinomial yang tersedia dalam *microsoft excel*.



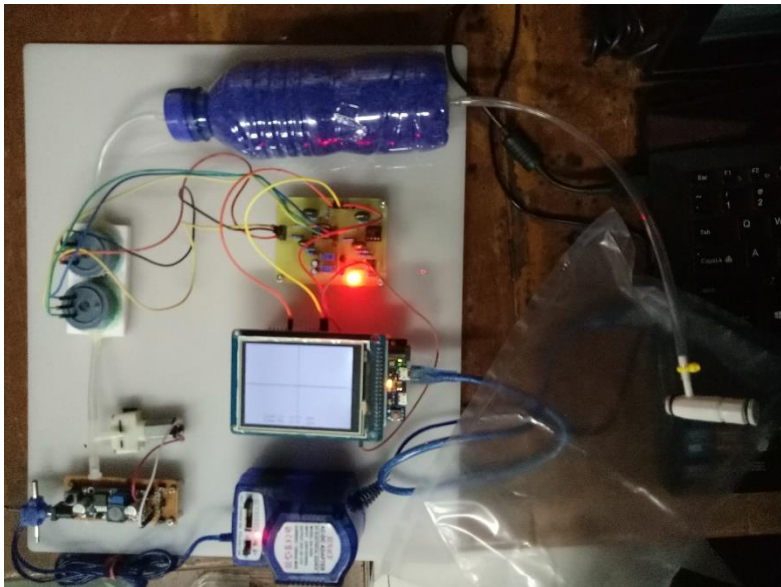
Gambar 3.10 Perancangan Kalibrasi Sensor CO

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Setelah dilakukan perancangan perangkat sistem sensor gas elektrokimia, maka dalam bab ini akan dilakukan serangkaian uji coba alat sesuai dengan kinerja yang diharapkan.

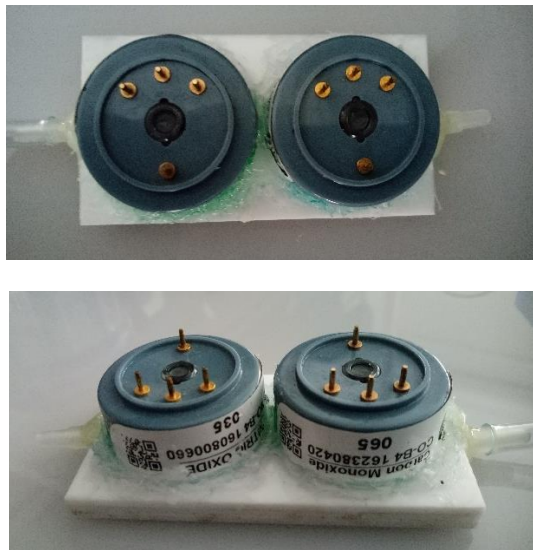
Hasil dari perancangan dan pembuatan perangkat keras sistem sensor gas ditunjukkan pada gambar 4.1. Perangkat ini terdiri dari silika gel yang berfungsi untuk menyaring udara, sensor, ruang uji gas dan rangkaian pengkondisi sinyal untuk menguji kadar gas, pompa, *power supply*, dan rangkain *buck converter* digunakan untuk menarik udara yang ada pada ruang uji gas dan sampel gas, arduino due sebagai mikrokontroler untuk sistem LPF dan visualiasasi pada LCD TFT.



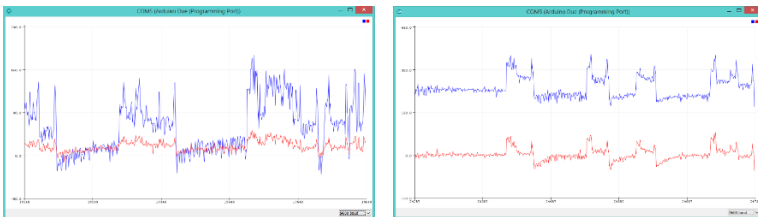
Gambar 4.1 Realisasi Perangkat Keras Sistem Sensor Gas Elektrokimia

4.1 Pengujian Sensor

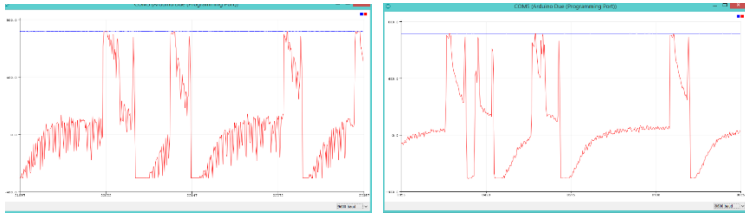
Pada subbab ini akan dilakukan pengujian sensor gas. Pada pengujian sensor ini ruang gas akan diberikan sampel gas untuk melihat respon dari sensor seperti pada gambar 4.2. Lalu sensor yang terhubung dengan rangkaian pengkondisi sinyal akan mengeluarkan tegangan dan dibaca oleh Arduino seperti pada gambar 4.3 dan 4.4. Selain membaca dengan *serial plotter* pada program Arduino pembacaan sensor juga dikirimkan secara serial dan di plot pada program *Delphi* agar mudah dilihat respon dari sensor seperti pada gambar 4.5.



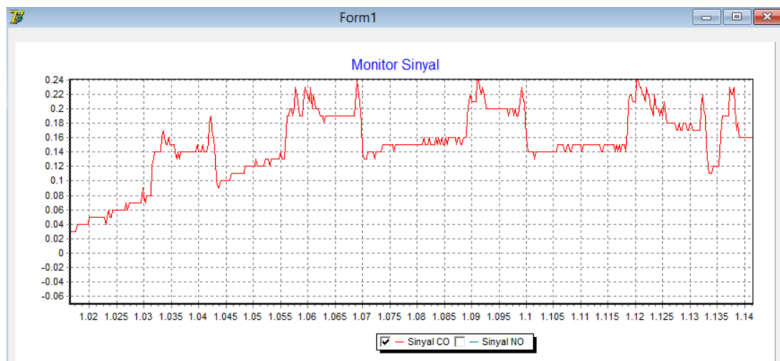
Gambar 4.2 Realisasi Sensor CO-B4 & NO-B4 dan Ruang Uji Gas



Gambar 4.3 Respon Sensor CO-B4 pada Arduino IDE



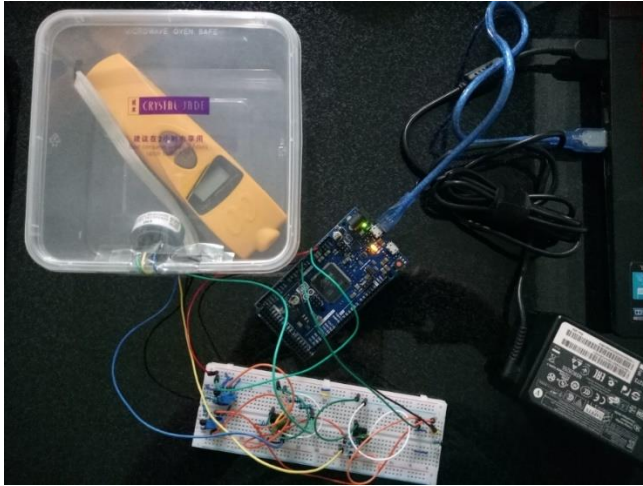
Gambar 4.4 Respon Sensor NO-B4 pada Arduino IDE



Gambar 4.5 Respon Sensor pada Program *Delphi*

4.2 Kalibrasi Sensor

Pada subbab ini akan dilakukan kalibrasi sensor CO-B4 dengan CO meter. Untuk melakukan proses kalibrasi sensor disini sensor dan CO meter dimasukkan kedalam wadah untuk mempersempit ruang dan mempermudah untuk pendeteksian gas seperti pada gambar 4.6. Percobaan ini dilakukan sebanyak 2 kali untuk dirata-rata, dan dipatkan hasil seperti tabel 1 dan 2.



Gambar 4.6 Kalibrasi Sensor CO-B4 dengan CO meter

Tabel 4.1 Kalibrasi Sensor CO dengan CO Meter Percobaan 1

CO meter (ppm)	V Out (V)
130	2.718
120	2.72
110	2.721
100	2.722
90	2.723
80	2.724
70	2.721
60	1.375
50	1.024
40	0.805
30	0.536
20	0.356
10	0.274
5	0.246
0	0.15

Tabel 4.2 Kalibrasi Sensor CO dengan CO Meter Percobaan 2

CO meter (ppm)	V Out (V)
125	1.645
120	1.541
110	1.381
100	1.113
90	1.021
80	0.791
70	0.699
60	0.694
50	0.643
40	0.486
30	0.429
20	0.351
10	0.266
5	0.212
0	0.15

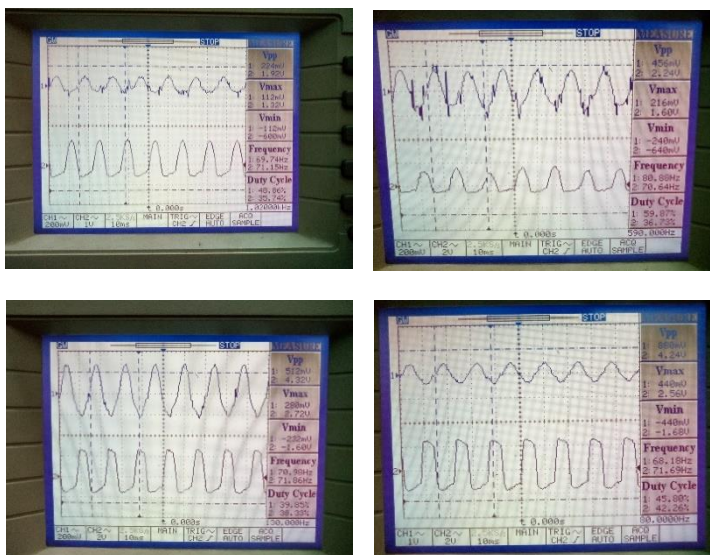
4.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal seperti gambar 4.7 dibutuhkan untuk mengaktifkan sensor. Rangkain ini menggunakan regulator LM336-2.5 V, IC Amplifier TLC272.



Gambar 4.7 Realisasi Rangkaian Pengkondisi Sinyal

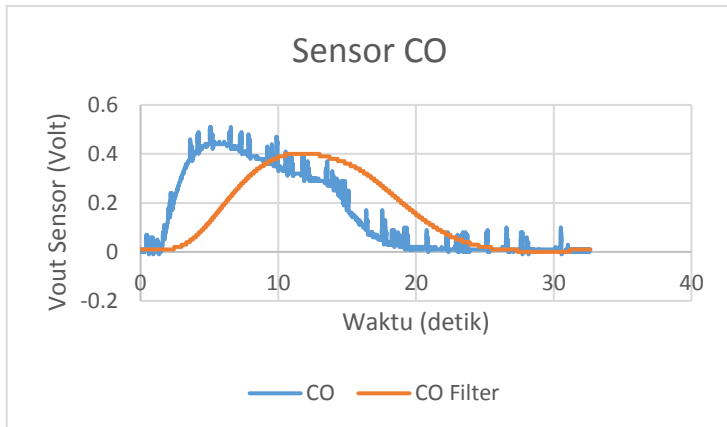
Hasil pengujian dari penguat pada rangkain pengkondisi sinyal seperti pada gambar 4.8. Pada penguatan tersebut dapat disimpulkan penguat yang dihasilkan oleh Amplifier sebesar ± 10 kali.



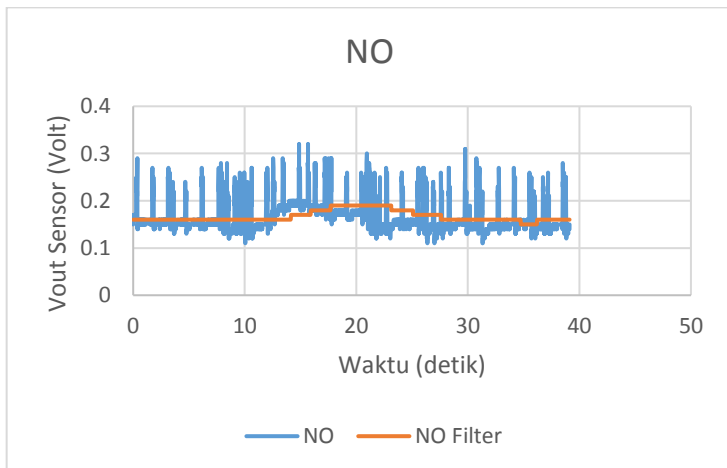
Gambar 4.8 Output Penguat dari Rangkaian Pengkondisi Sinyal

4.4 Pengujian Software

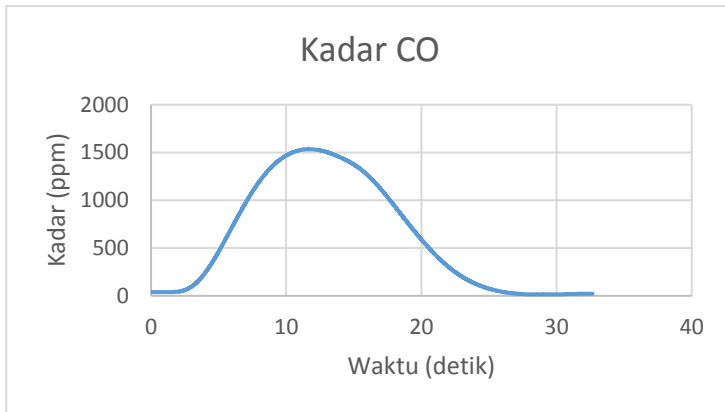
Sistem sensor gas elektrokimia agar dapat digunakan untuk memonitoring kadar dari gas CO dan NO diperlukan proses pemfilteran. Maka pada penelitian ini digunakan filter digital *Low Pass Filter* Butterworth dengan frekuensi cut-off 5 Hz. Seperti pada gambar 4.9 dan 4.10, dapat diamati output dari sensor asli dan juga yang sudah di filter.



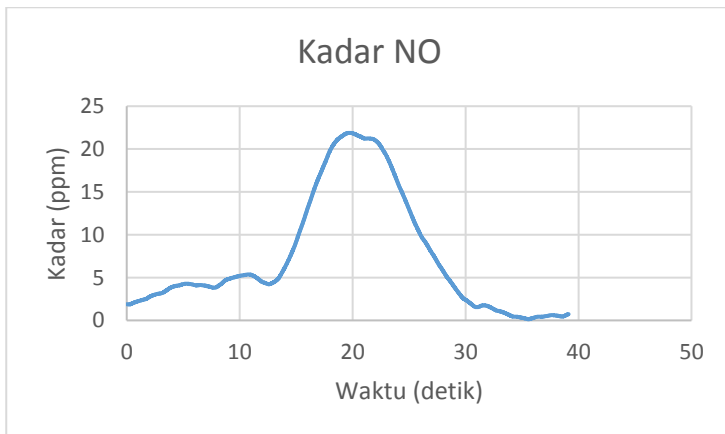
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Sensor CO



Gambar 4.10 Grafik Pengujian Sensor NO



Gambar 4.11 Grafik Kadar CO



Gambar 4.12 Grafik Kadar NO

Setelah difilter sinyal dari sensor gas digunakan untuk menghitung kadar dari sensor, seperti gambar 4.11 dan gambar 4.12. Dapat dilihat data dari sensor yang sebelumnya banyak *noise* setelah difilter *noise* dapat dihilangkan, saat ruang uji gas diberi gas dari sisa pembuangan kendaraan terjadi kenaikan nilai kadar dari pembacaan sensor.

4.5 Pengujian Sistem

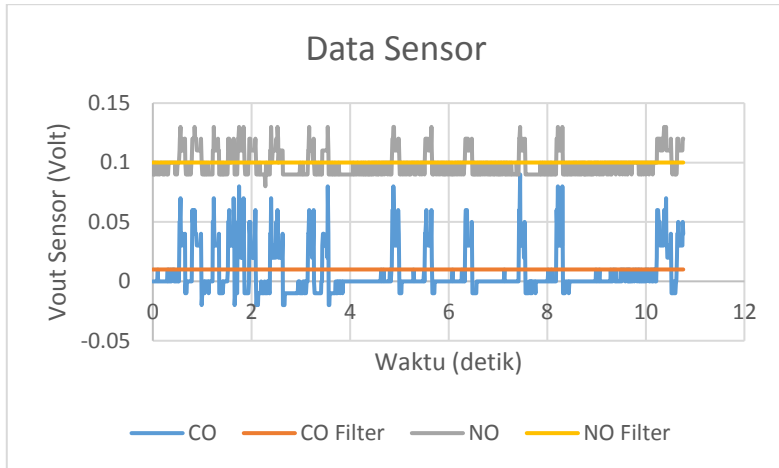
Pada pengujian keseluruhan sistem hasil yang didapatkan yaitu pembacaan sensor yang digunakan untuk mengukur kadar polusi kendaraan bermotor pada jalan raya dan pada perokok dan bukan perokok.

4.5.1 Pengujian pada Jalan Raya

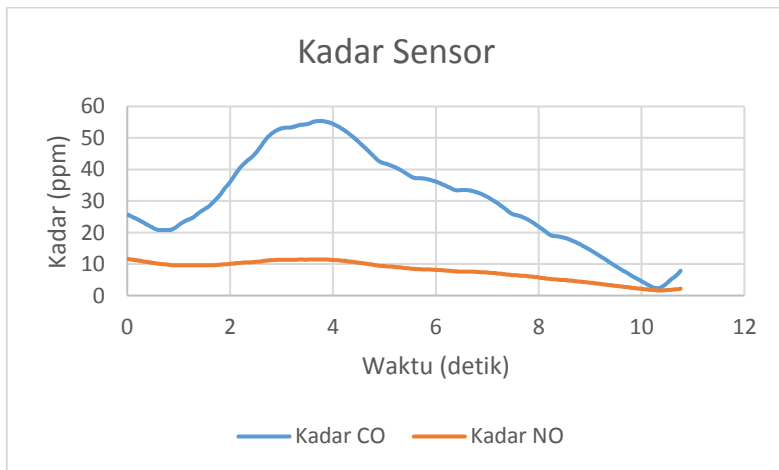
Pada pengujian ini perlu dipersiapkan alat-alat untuk mengambil sampel gas, yaitu pompa untuk menyedot gas polusi, selang sebagai penghubung, *powerbank* sebagai supply untuk menyalakan pompa, dan kantong gas untuk tempat penampungan gas polusi.

Pertama-tama gas diambil menggunakan pompa untuk menyedot dan dimasukkan ke dalam kantong gas, lalu gas tersebut dipompa dimasukkan ke ruang uji gas lalu dibaca oleh sensor, lalu datanya diproses oleh Arduino Due dan divisualisasikan pada LCD TFT, selain itu data dikirim serial dan di-*interface*-kan pada delphi, setelah selesai dimonitoring data disimpan dalam format CSV.

Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali. Data diambil pada hari sabtu 23 Juni dan minggu 24 Juni di jalan Manyar Kertoarjo. Pengambilan data yang pertama pada hari sabtu jam 11.00. Pengisian kantong gas dilakukan selama 2 menit dikarenakan kantong gas sudah penuh. Lalu gas dari kantong gas tersebut dimasukkan ke ruang uji gas untuk dimonitor kadar dari gas tersebut. Setelah itu didapatkan data seperti gambar 4.13 dan 4.14. Pada pengujian yang pertama didapatkan rata-rata kadar gas CO pada jalan raya 30.47 ppm dan rata-rata kadar gas NO sebesar 7.89 ppm.

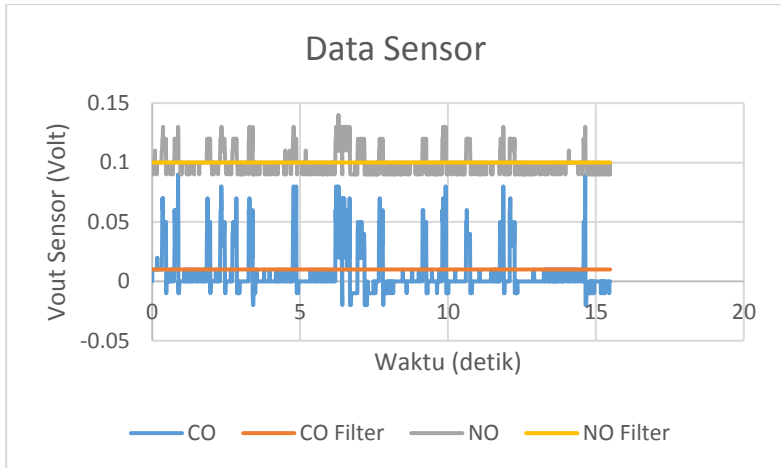


Gambar 4.13 Grafik Data Sensor Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 11.00

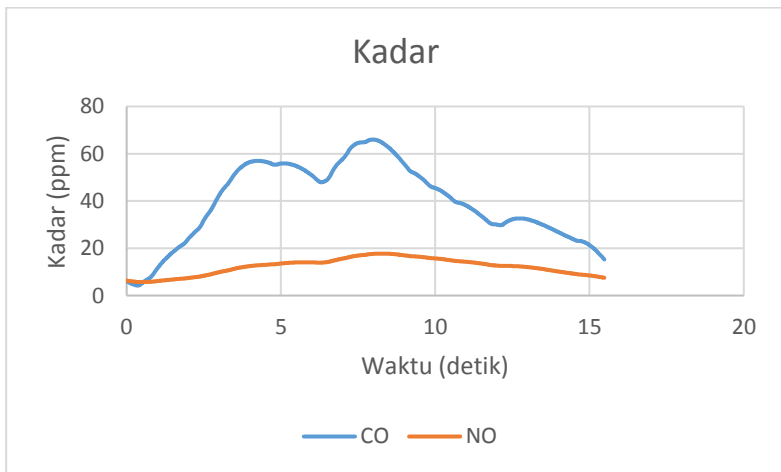


Gambar 4.14 Grafik Kadar Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 11.00

Pengujian yang kedua pada hari sabtu jam 18.00 dan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.15 dan 4.16 didapatkan rata-rata kadar gas CO sebesar 39.65 ppm dan NO sebesar 12.25 ppm.

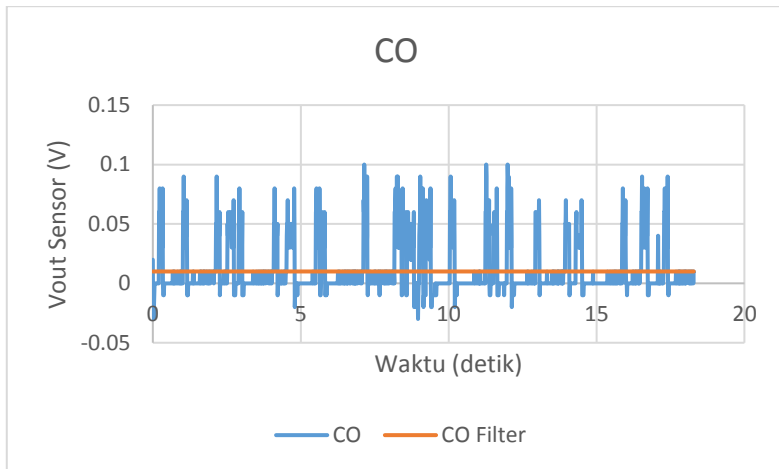


Gambar 4.15 Grafik Data Sensor Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 18.00

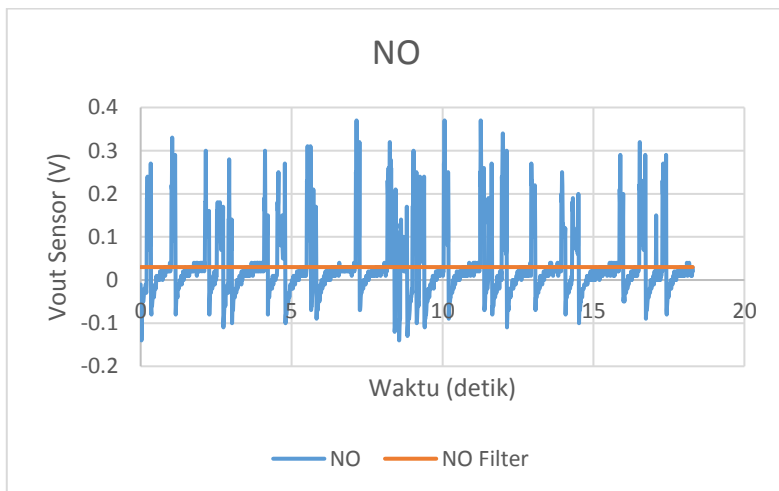


Gambar 4.16 Grafik Kadar Polusi Udara Sabtu 23 Juni jam 18.00

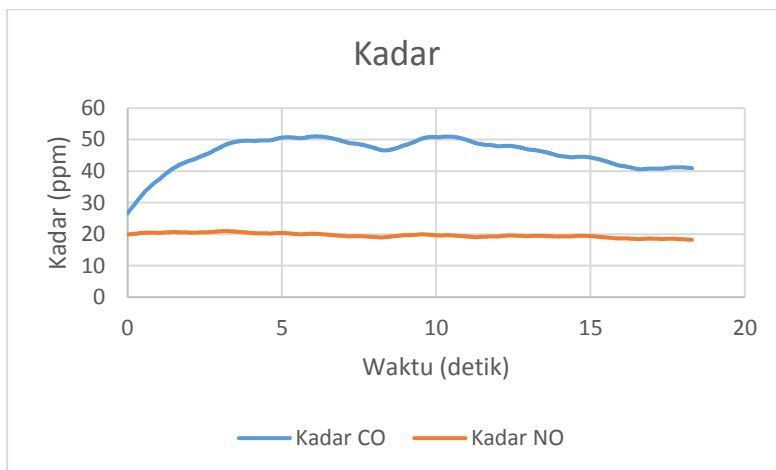
Pengujian yang ketiga dilakukan pada hari minggu 24 Juni pada jam 15.00 dan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.17, 4.18, dan 4.19 didapatkan rata-rata kadar gas CO sebesar 45.84 ppm dan NO sebesar 19.64 ppm.



Gambar 4.17 Grafik CO Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00



Gambar 4.18 Grafik NO Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00



Gambar 4.19 Grafik Kadar Polusi Udara Minggu 24 Juni jam 15.00

Tabel 4.3 Kadar Gas Polusi Kendaraan Bermotor

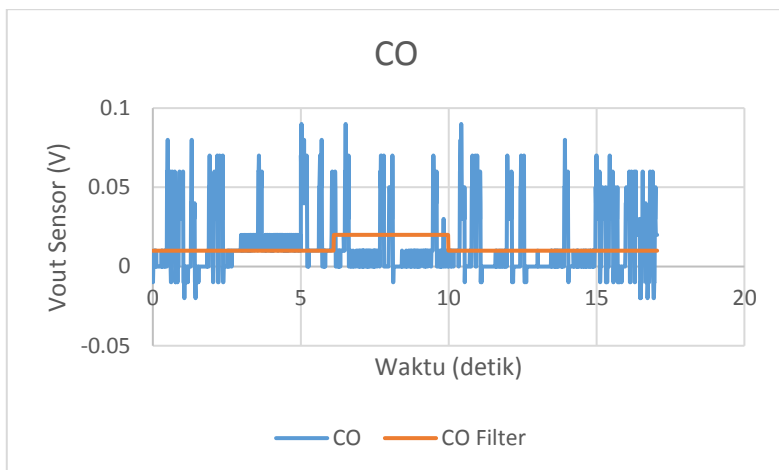
Hari	Jam	Kadar CO(ppm)	Kadar NO (ppm)
Sabtu	11.00	30,47	7,89
Sabtu	18.00	39,65	12,25
Minggu	15.00	45,84	19,64

4.5.2 Pengujian pada Perokok

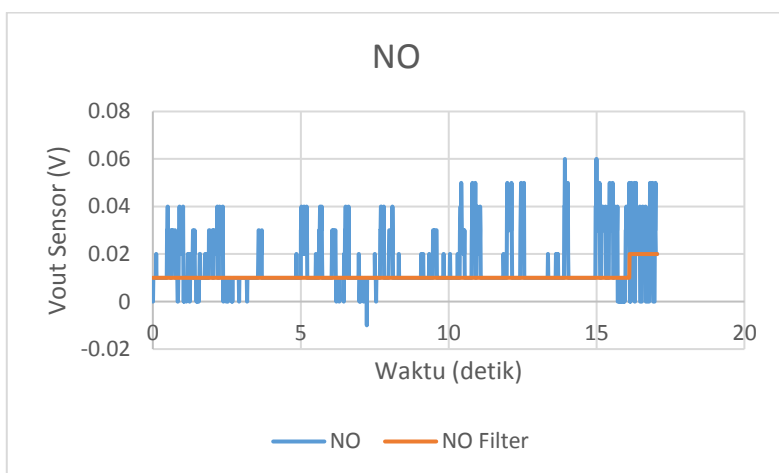
Selain dilakukan pengujian pada jalan raya, dilakukan juga pengujian pada pernafasan perokok dan bukan perokok. Pertama-tama yang dilakukan subjek mengisi kantong gas dengan cara meniup pada selang. Setelah ditampung pada kantong gas lalu gas tersebut diamati dengan cara memasukkan gas ke ruang uji gas dengan pompa dan diamati oleh program delphi dan datanya disimpan.

Percobaan dilakukan pada 9 subjek dengan tiga kondisi subjek yang berbeda, yaitu subjek bukan perokok, subjek perokok setelah merokok, dan subjek perokok setelah merokok lebih dari 1 jam. Masing-masing kondisi terdapat 3 subjek.

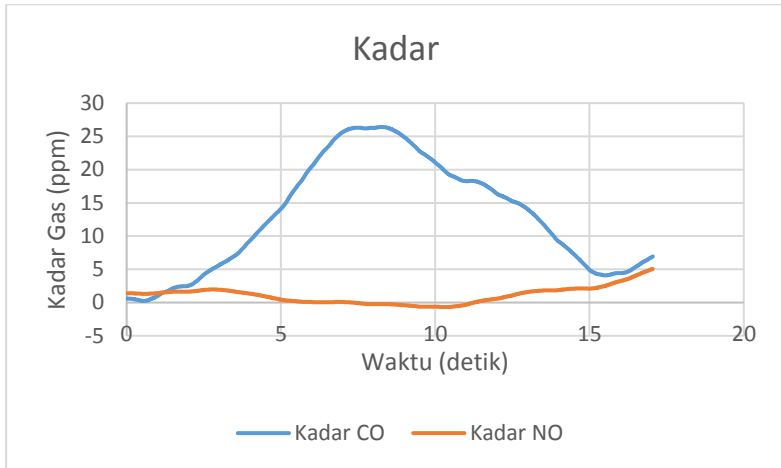
Pertama pengujian terhadap subjek yang langsung setelah merokok. Pada gambar 4.20, 4.21, dan 4.22 merupakan data dari subjek A perokok setelah merokok dan didapatkan nilai rata-rata kadar CO 13,04 ppm dan kadar NO 1,07 ppm.



Gambar 4.20 Grafik CO Subjek A Perokok Setelah Merokok

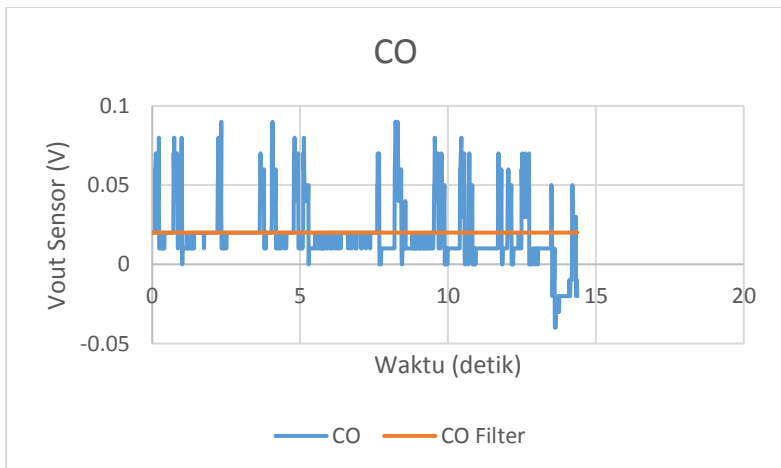


Gambar 4.21 Grafik NO Subjek A Perokok Setelah Merokok

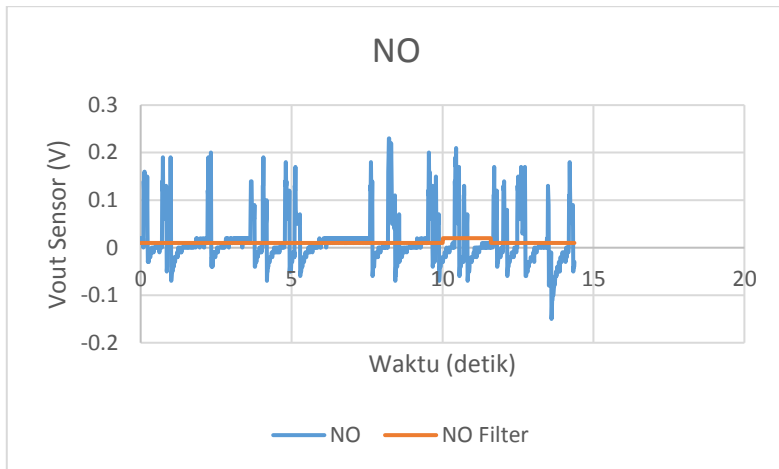


Gambar 4.22 Grafik Kadar Subjek A Perokok Setelah Merokok

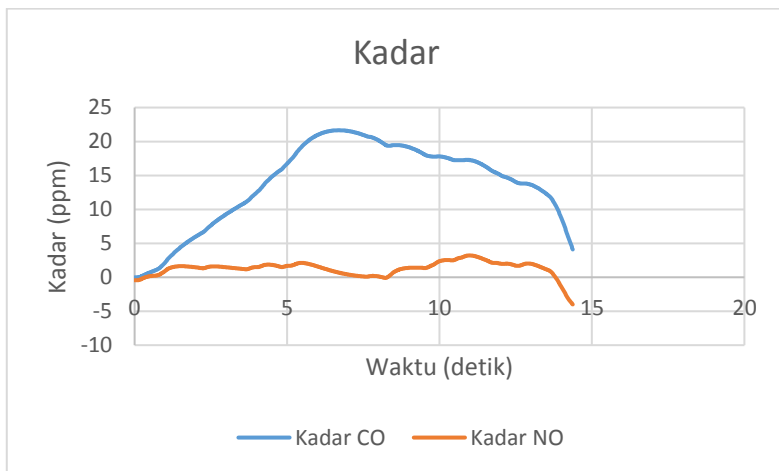
Pada gambar 4.23, 4.24, dan 4.25 merupakan data dari subjek B perokok setelah merokok dan didapatkan nilai rata-rata kadar CO 13,87 ppm dan kadar NO 1,28 ppm.



Gambar 4.23 Grafik CO Subjek B Perokok Setelah Merokok

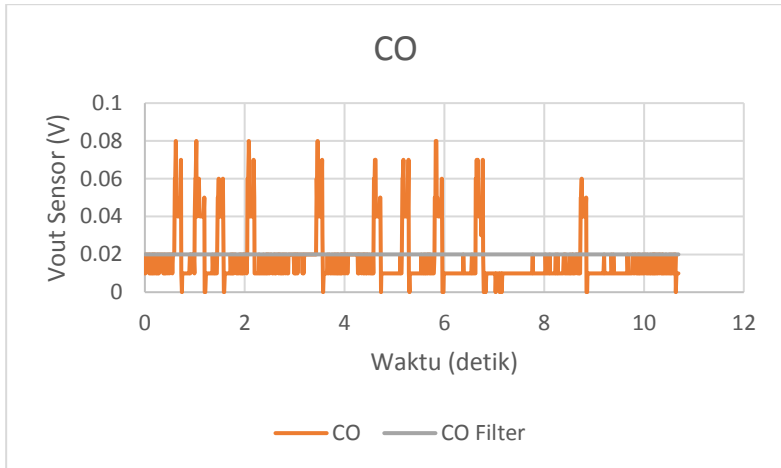


Gambar 4.24 Grafik NO Subjek B Perokok Setelah Merokok

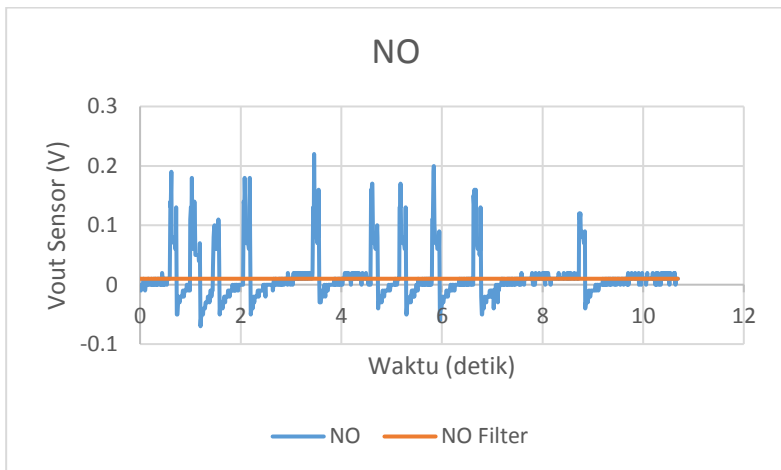


Gambar 4.25 Grafik Kadar Subjek B Perokok Setelah Merokok

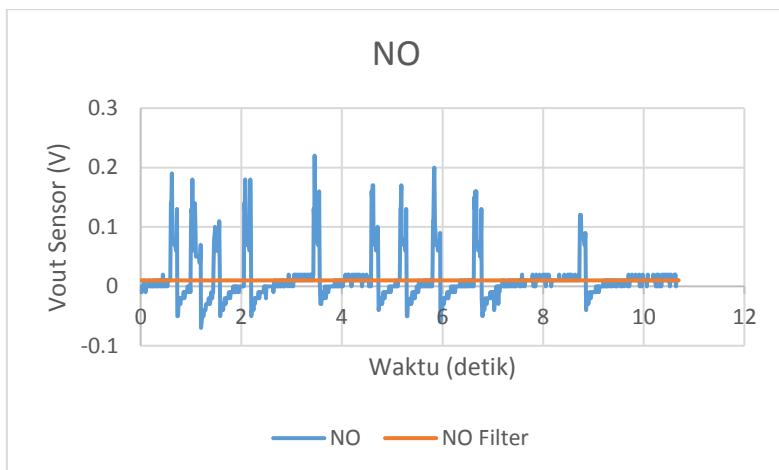
Pada gambar 4.26, 4.27, dan 4.28 merupakan data dari subjek C perokok setelah merokok dan didapatkan nilai rata-rata kadar CO 8,6 ppm dan kadar NO 1,64 ppm.



Gambar 4.26 Grafik CO Subjek C Perokok Setelah Merokok



Gambar 4.27 Grafik NO Subjek C Perokok Setelah Merokok

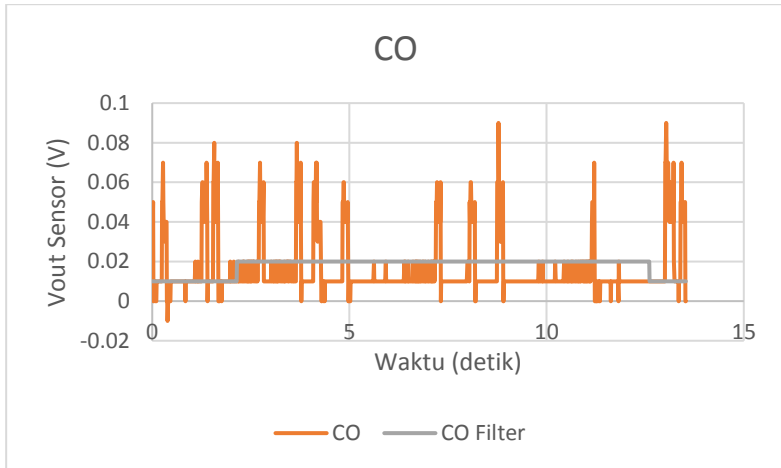


Gambar 4.28 Grafik Kadar Subjek C Perokok Setelah Merokok

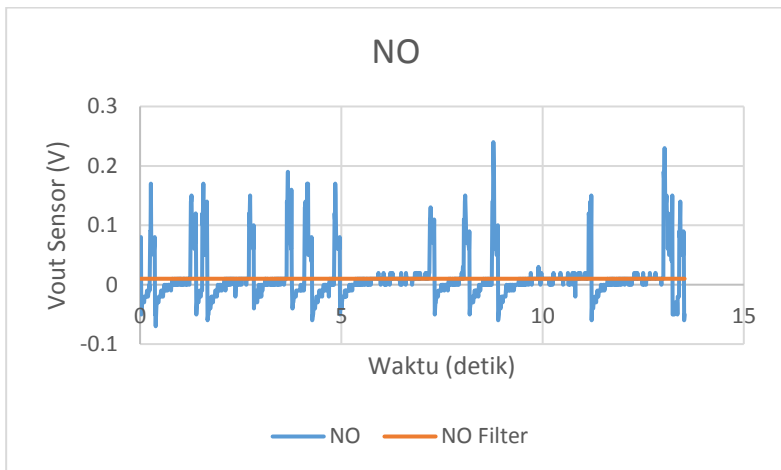
Tabel 4.4 Kadar CO dan NO Subjek Perokok Setelah Merokok

Perokok	Kadar CO(ppm)	Kadar NO (ppm)
Subjek A	13,04	1,07
Subjek B	13,87	1,28
Subjek C	8,6	1,64

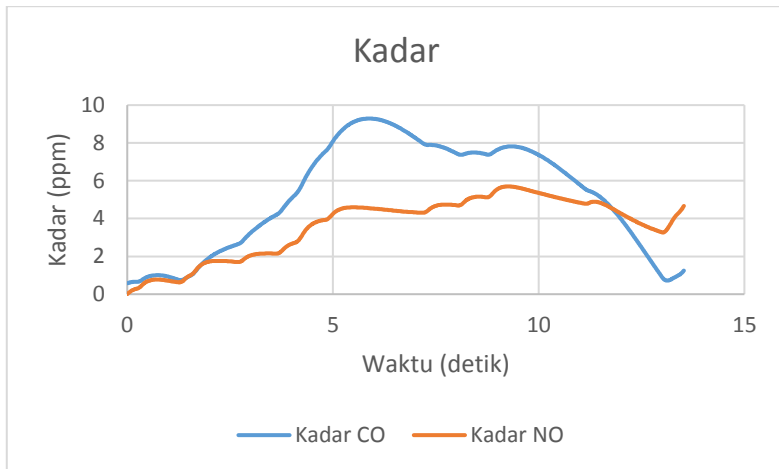
Pengujian selanjutnya dilakukan pada subjek perokok setelah merokok lebih dari 1 jam, dan didapatkan hasil subjek A seperti pada gambar 4.26, 4.27, dan 4.28. Nilai rata-rata kadar CO 5,21 ppm dan kadar NO 3,62 ppm.



Gambar 4.29 Grafik CO Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

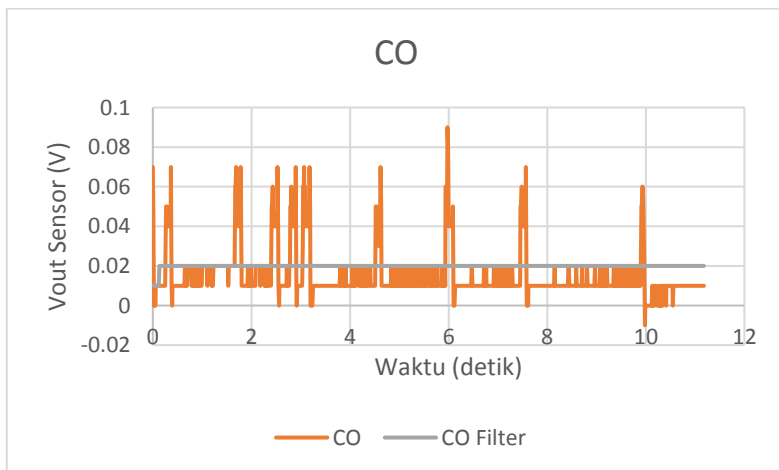


Gambar 4.30 Grafik NO Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

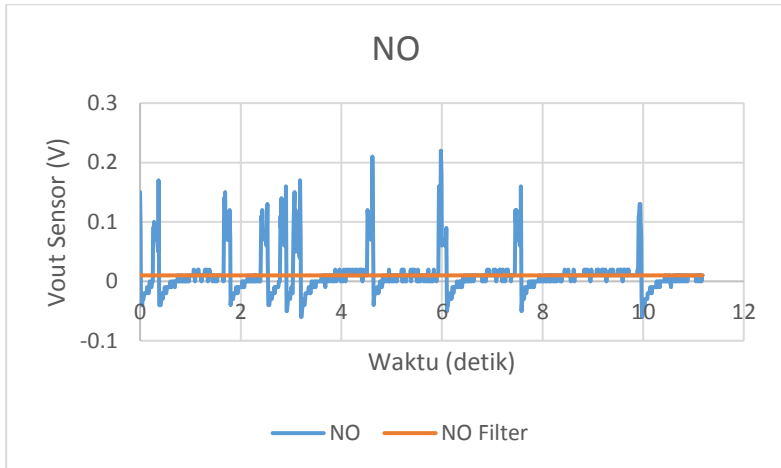


Gambar 4.31 Grafik Kadar Subjek A Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

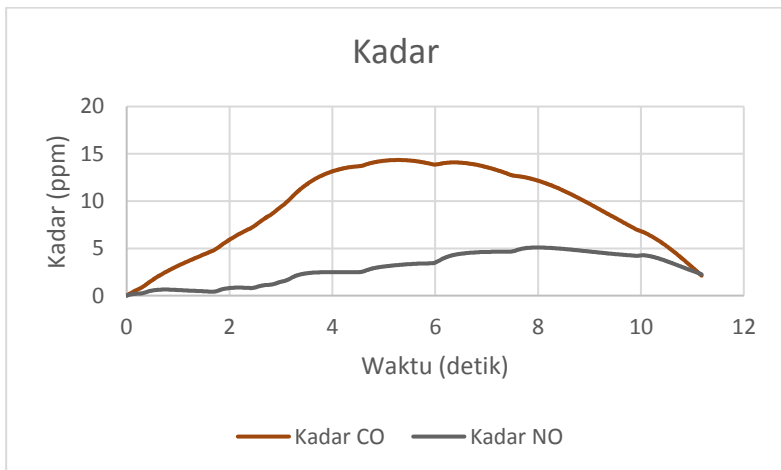
Pada gambar 4.29, 4.30, dan 4.31 merupakan data dari subjek B perokok setelah merokok dan didapatkan nilai rata-rata kadar CO 9,36 ppm dan kadar NO 2,91 ppm.



Gambar 4.32 Grafik CO Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

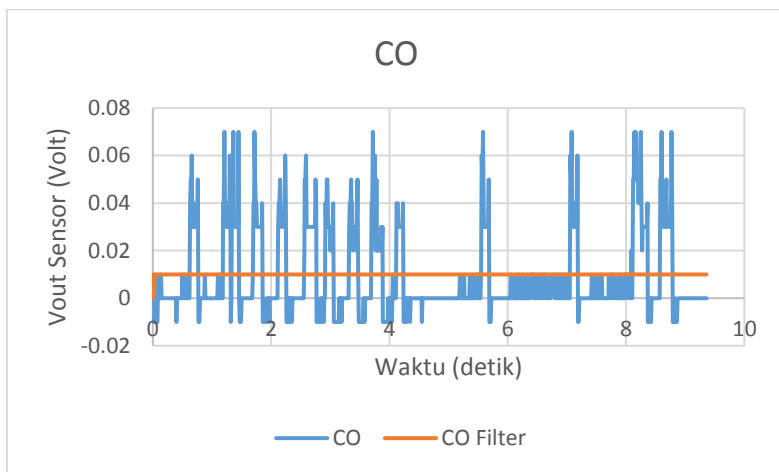


Gambar 4.33 Grafik NO Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

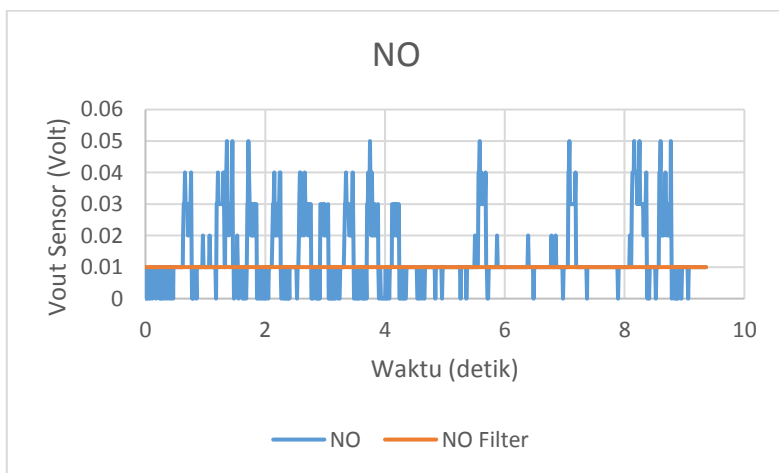


Gambar 4.34 Grafik Kadar Subjek B Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

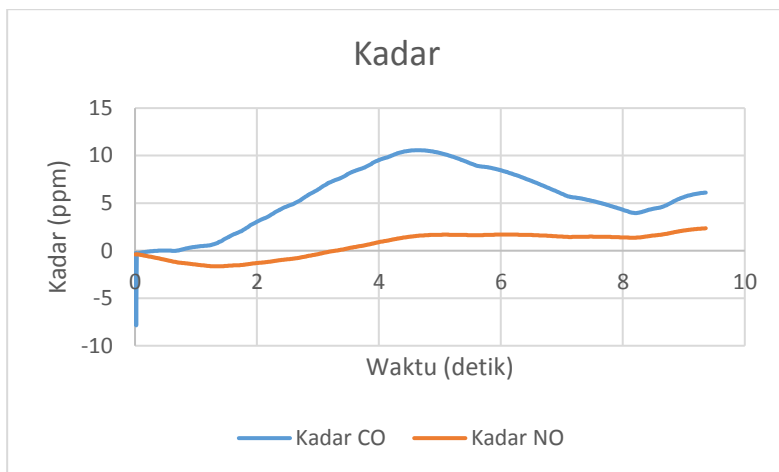
Pada gambar 4.32, 4.33, dan 4.34 merupakan data dari subjek C perokok setelah merokok dan didapatkan nilai rata-rata kadar CO 5,6 ppm dan kadar NO 0,59 ppm.



Gambar 4.35 Grafik CO Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam



Gambar 4.36 Grafik NO Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

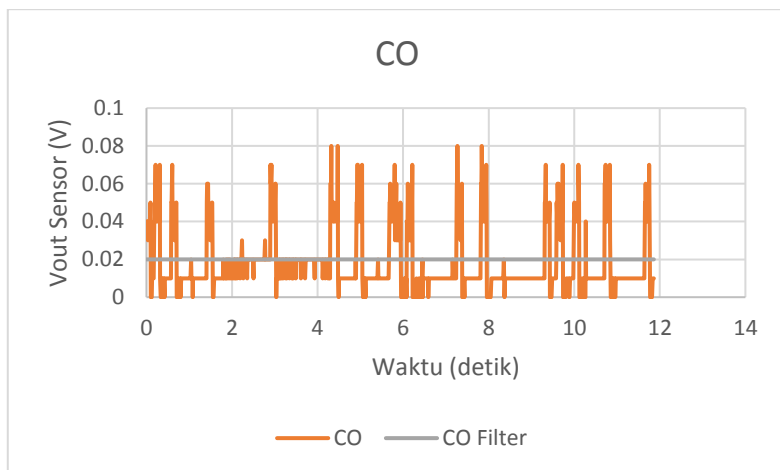


Gambar 4.37 Grafik Kadar Subjek C Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

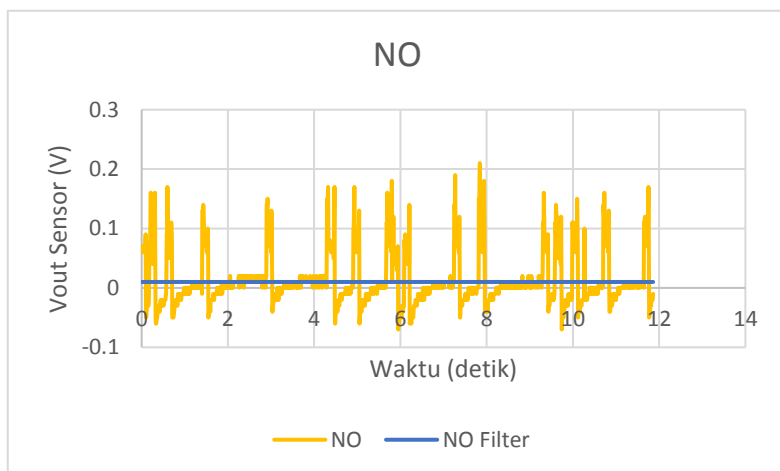
Tabel 4.5 Kadar CO dan NO Subjek Perokok Setelah Merokok Lebih dari 1 jam

Perokok setelah 1 jam	Kadar CO(ppm)	Kadar NO (ppm)
Subjek A	5,21	3,62
Subjek B	9,36	2,91
Subjek C	5,6	0,59

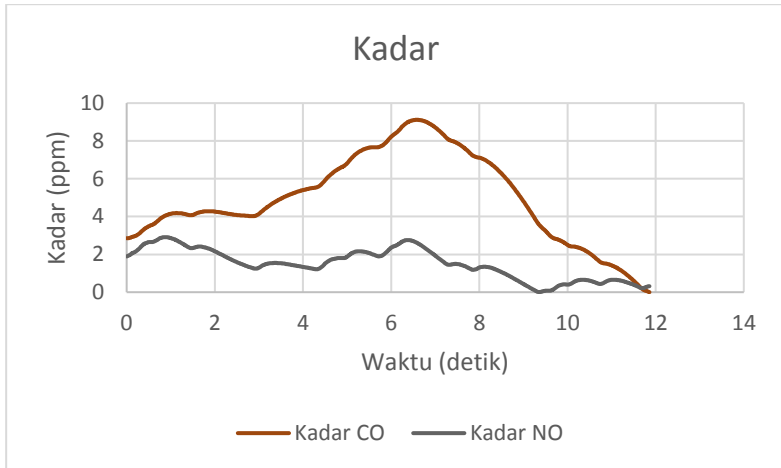
Pengujian terakhir dilakukan pada subjek bukan perokok, pada pengujian ini terdapat 3 subjek. Pada gambar 4.35, 4.36, dan 4.37 merupakan subjek A bukan perokok dan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.26, 4.27, dan 4.25. Nilai rata-rata kadar CO 4,98 ppm dan kadar NO 1,5 ppm.



Gambar 4.38 Grafik CO Subjek A Bukan Perokok

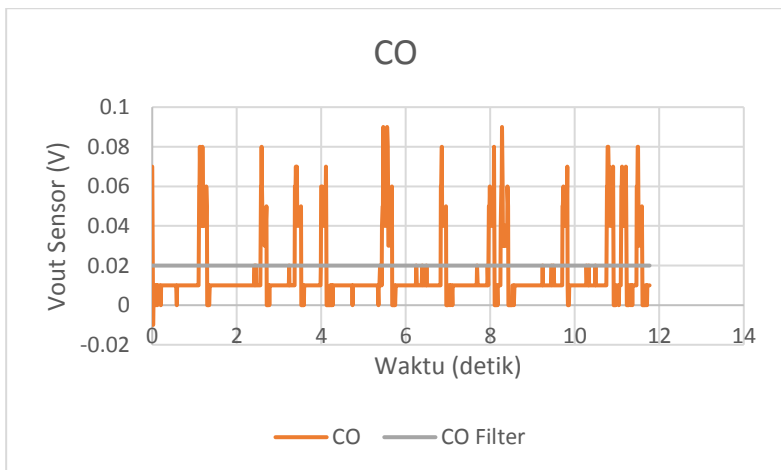


Gambar 4.39 Grafik NO Subjek A Bukan Perokok

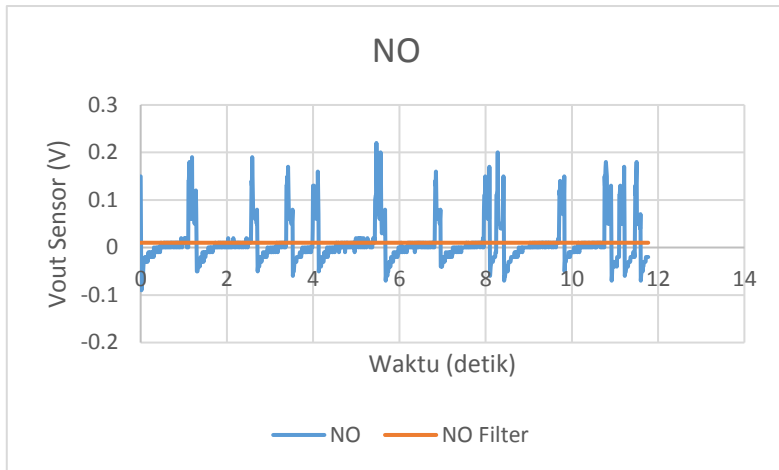


Gambar 4.40 Grafik Kadar Subjek A Bukan Perokok

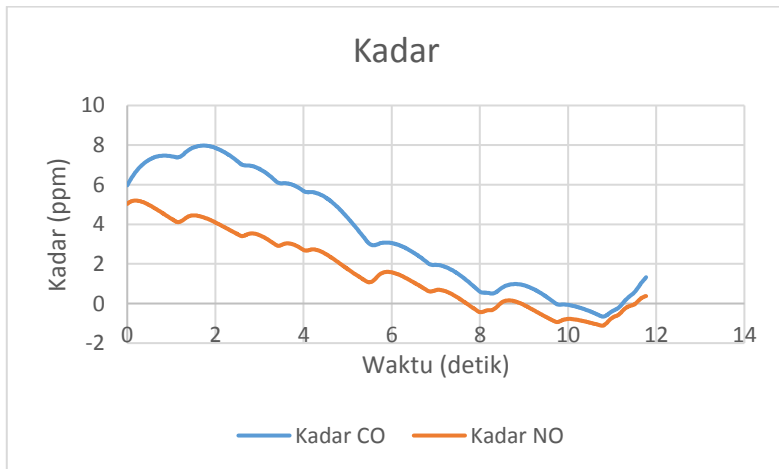
Pada gambar 4.35, 4.36, dan 4.37 merupakan subjek B bukan perokok dan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.26, 4.27, dan 4.25. Nilai rata-rata kadar CO 3,55 ppm dan kadar NO 1,63 ppm.



Gambar 4.41 Grafik CO Subjek B Bukan Perokok

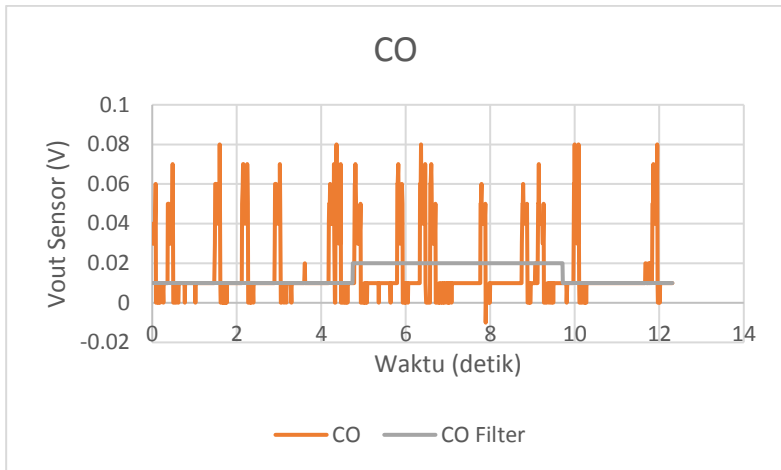


Gambar 4.42 Grafik NO Subjek B Bukan Perokok

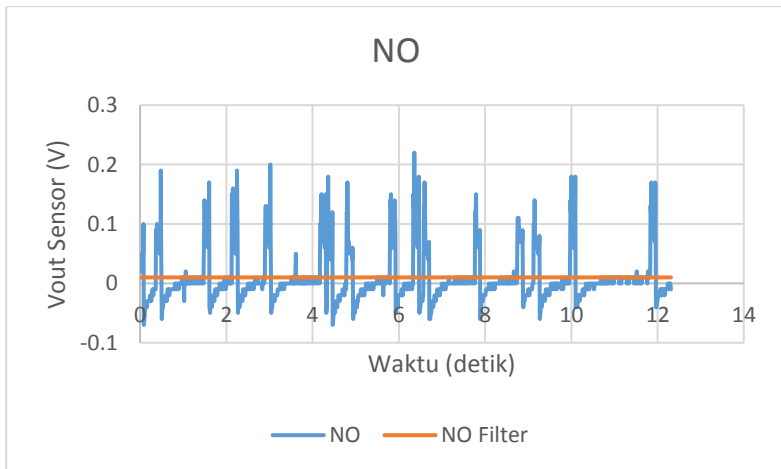


Gambar 4.43 Grafik Kadar Subjek B Bukan Perokok

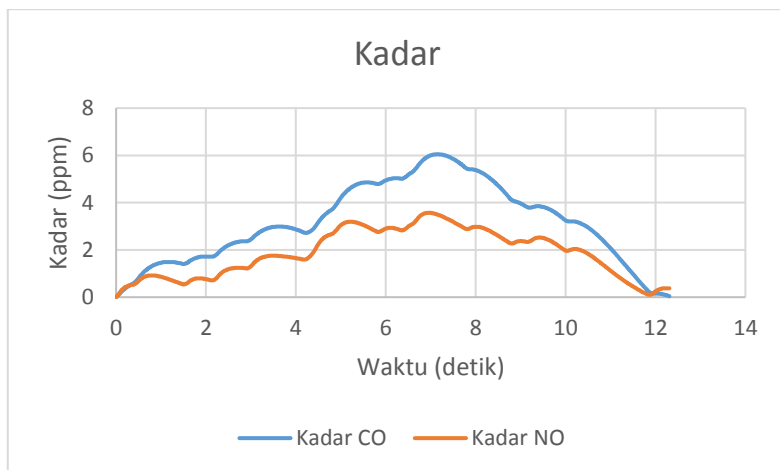
Pada gambar 4.38, 4.39, dan 4.40 merupakan subjek C bukan perokok dan didapatkan hasil seperti pada gambar 4.26, 4.27, dan 4.25. Nilai rata-rata kadar CO 3,14 ppm dan kadar NO 1,86 ppm.



Gambar 4.44 Grafik CO Subjek C Bukan Perokok



Gambar 4.45 Grafik NO Subjek C Bukan Perokok

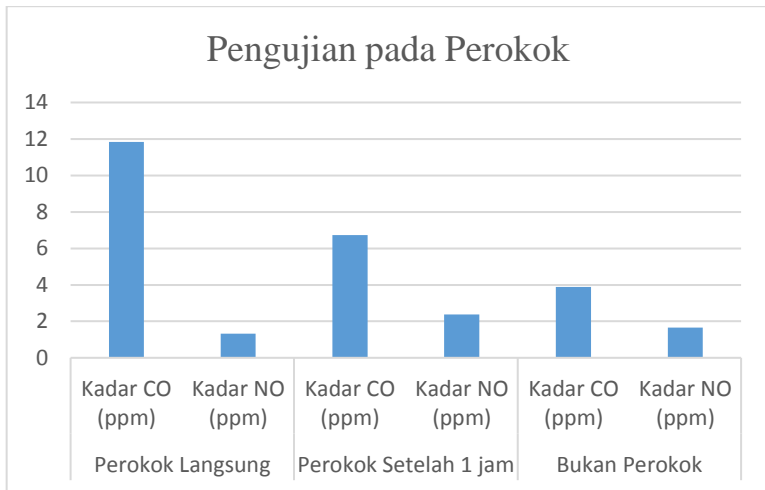


Gambar 4.46 Grafik Kadar Subjek C Bukan Perokok

Tabel 4.6 Kadar CO dan NO Subjek Bukan Perokok

Non Perokok	Kadar CO(ppm)	Kadar NO (ppm)
Subjek A	4,98	1,5
Subjek B	3,55	1,63
Subjek C	3,14	1,86

Pada gambar 4.47 dapat dilihat perbedaan dari kadar CO dan NO pada subjek perokok langsung, perokok setelah merokok setelah satu jam, dan bukan perokok. Terlihat perbedaan yang sangat besar pada kadar CO pada setiap kondisi.



Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Subjek Perokok

#halaman ini sengaja dikosongkan#

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa untuk mendeteksi gas karbon monoksida dan oksida nitrat dapat digunakan sensor CO-B4 dan NO-B4. Sistem digital *Low Pass Filter* (LPF) Butterworth dengan frekuensi cutoff 5Hz dapat digunakan untuk menghilangkan *noise*. Sistem LPF dapat diimplementasikan menggunakan Arduino Due sebagai mikrokontroler dari sistem gas sensor elektrokimia. Sistem sensor gas elektrokimia ini dapat digunakan untuk monitoring polusi udara di Surabaya dengan rata-rata kadar gas CO 38,65 ppm dan NO 13,26 ppm. Dan sistem sensor gas ini mampu mendeteksi seseorang merupakan perokok atau tidak dengan rata-rata kadar CO dan NO pada perokok 13,32 ppm dan 1,33 ppm sedangkan pada bukan perokok 4,1 ppm dan 1,36 ppm.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat ditambah *database*, sehingga data dapat disimpan dan diakses kembali bila diperlukan. Dan juga bisa digunakan teknologi IoT (*Internet of Things*) agar dapat monitoring online.

#halaman ini sengaja dikosongkan#

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Malmberg L P, Pelkonen A S, Haahtela T and Turpeinen M, “Exhaled nitric oxide rather than lung function distinguishes preschool children with probable asthma Thorax”, 2003.
- [2] Gajd’ocsy R and Horv’ath I, “Exhaled carbon monoxide in airway diseases”, 2010.
- [3] Joanne H Shorter, David D Nelson, J Barry McManus, Mark S Zahniser, Susan R Sama, Donald K Milton, “Clinical Study Of Breath Biomarkers of Asthma and COPD (NO, CO₂, CO dan N₂O) by Infrared Laser Spectroscopy”, pp. 12, USA, July 2011.
- [4] Igor Cretescu, Doina Lutic, Liliana Rosemarie Manea “Electrochemical Sensors for Monitoring of Indoor and Outdoor Air Pollution”, Mei 2017.
- [5] Membrapor, “Electrochemical Gas Sensors” <URL: <http://www.membrapor.ch/electrochemical-gas-sensors> >.
- [6] Intlsensor, “Electrochemical Sensors” <URL: <http://www.intlsensor.com/pdf/electrochemical.pdf>>.
- [7] R. Singh, A. Gehlot, B. Singh, dan S. Choudhury, “*Arduino-Based Embedded Systems Interfacing, Simulation, and Labview GUP*”, CRC Press, 2018.
- [8] A.D.S. Gaviola, M. Rivai, H. Kusuma, “Audio Beam Steering With Phased Array Method Using Arduino Due Microcontroller”, ICOIACT 2018, hlm. 597–600, 2018.
- [9] Mostefa Kermadi, El Madjid Berkouk, Ali Benachour, “Design of Discrete PI-based Current Controller for Reversible Buck Boost Converter. Digital Implementation using Arduino Due board”, Algeria, 2016.
- [10] Dario De Santis, Domenico Aldo Giampetruzzi, Gaetano Abbatantuono, Massimo La Scala. “Smart Metering for Low Voltage Electrical Distribution System using Arduino Due”, Italy, Juni 2016.
- [11] Juana Fernández, Walter Gemin, Raúl Rivera, Miguel Revuelta, Melisa Kuzman, Roberto Hidalgo, “Digital Filter Design With Arduino DUE and Matlab”, Argentina, 2015.
- [12] Shin-Chi Lai, Te-Hsuan Hung, Siang-Ling Lu, Chia-Chun Tsai, Chiung-Hon Lee, “Thumb-Based ECG Signal Acquisition System with Digital Signal Processing Algorithms”, 2016.

- [13] Graynomad, "Due Pinout Diagram" <URL: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=132130.0>>, 2013.
- [14] Schafer dan Buck, "Discrete-Time Signal Processing in RF Application, Lecture handout : Digital Signal Processing", Paul Scherrer Institute, Villigen, Swiss, 2007.
- [15] Stanley Setiawan, "Studi Eksperimental Fuzzy FES Control untuk Pergerakan Knee Joint", Tugas Akhir. 2016.
- [16] AzoSensor, "How to Design Electronic Sensors Incorporating Electrochemical Gas Sensors" <URL: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=543>>, Oktober 2014.
- [17] Handi Rahmannuri, Muhammad Rivai, Tri Arief Sardjono, "Design of Digital Lock-In Amplifier for Low Concentration Gas Detection", 2017.
- [18] F. Rizki dan M. Rivai, "*Autonomous Surface Vehicle sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint*", Jurnal Teknik ITS, 2018.

LAMPIRAN A

Program inti sistem sensor gas elektrokimia

```
#include <DueTimer.h>
#include <TFT_HX8357_Due.h>
TFT_HX8357_Due tft = TFT_HX8357_Due();

int x, y; // Coordinates for drawing
int xPosCO = 1;
int TempxCO = 0;
int TempyCO = 0;

int xPosNO = 1;
int TempxNO = 0;
int TempyNO = 0;

// Konstanta Filter
float a0 = 0.000003311615741; //5 Hz
float a1 = 0.000006623231481;
float a2 = 0.000003311615741;
float b1 = -1.994861549;
float b2 = 0.9948747957;

float CO1 = 0;
float CO2 = 0;
float outCO1 = 0;
float outCO2 = 0;
float CO_LPF = 0;
float NO1 = 0;
float NO2 = 0;
float outNO1 = 0;
float outNO2 = 0;
float NO_LPF = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tft.init();
  tft.setRotation(1);
```

```

    analogWriteResolution(12);
}

void plot()
{
    tft.fillScreen(TFT_WHITE);
}

void loop() {
    analogReadResolution(12);
    float readCO = analogRead(A0);
    float VirtualGND = analogRead(A1);
    float readNO = analogRead(A8);

    float nilaiCO = readCO / 4095 * 3.3;
    float nilaiNO = readNO / 4095 * 3.3;
    float nilaiVG = VirtualGND / 4095 * 3.3;

    float CO_ADC = nilaiCO - nilaiVG;
    float NO_ADC = nilaiNO - nilaiVG;

    float CO = readCO - VirtualGND + 0.02;// + 0.02;
    float NO = readNO - VirtualGND - 0.02;// - 0.2;

    // FILTER LPF
    CO_LPF = a0*CO + a1*CO1 + a2*CO2 - b1*outCO1 - b2*outCO2;
    CO2 = CO1;
    CO1 = CO;
    outCO2 = outCO1;
    outCO1 = CO_LPF;

    NO_LPF = a0*NO + a1*NO1 + a2*NO2 - b1*outNO1 - b2*outNO2;
    NO2 = NO1;
    NO1 = NO;
    outNO2 = outNO1;
    outNO1 = NO_LPF;

    float CO_1 = CO_LPF/ 4095 * 3.3;
    float NO_1 = NO_LPF/ 4095 * 3.3;

```

```

float kadarCO = CO_1 / 0.000000525 *2 / 1000 -25; // hitung ppm
float kadarNO = NO_1 / 0.00000325 *2 / 350 -25; // hitung ppm

tft.drawLine(0, 120, 320, 120, TFT_BLACK);
tft.drawLine(160, 0, 160, 240, TFT_BLACK);

int mappCO = map(CO_LPF,0,4095,0,240);
int aCO = (-1)*(mappCO-120);
tft.drawLine(TempyCO,TempxCO,xPosCO,aCO,TFT_RED);
TempxCO = aCO;
TempyCO = xPosCO;

int mappNO = map(NO_LPF,0,4095,0,240);
int aNO = (-1)*(mappNO-120);
tft.drawLine(TempyNO,TempxNO,xPosNO,aNO,TFT_BLUE);
TempxNO = aNO;
TempyNO = xPosNO;

if (xPosCO > 319){
    plot();
    xPosCO = 1;
    TempyCO = 1;
}
else{
    xPosCO++;
}

if (xPosNO > 319){
    plot();
    xPosNO = 1;
    TempyNO = 1;
}
else{
    xPosNO++;
}

tft.setTextColor(TFT_BLACK, TFT_WHITE);
tft.setTextSize(1);
tft.drawString("Kadar CO:", 60, 205, 2);

```

```

tft.drawString("Kadar NO:", 60, 220, 2);
tft.drawFloat(kadarCO, 2, 135, 205, 2);
tft.drawFloat(kadarNO, 2, 135, 220, 2);
tft.drawString("ppm", 190, 205, 2);
tft.drawString("ppm", 190, 220, 2);

analogWrite(DAC0, CO);

Serial.print("D");
Serial.print(CO_ADC);
Serial.print(",");
Serial.print(CO_1);
Serial.print(",");
Serial.print(NO_ADC);
Serial.print(",");
Serial.print(NO_1);
Serial.print(",");
Serial.print(kadarCO);
Serial.print(",");
Serial.print(kadarNO);
Serial.print("A");

delay(10);
}

```

Program *interface* pada Delphi

```

unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart,
  ComCtrls, Mask, CPort, StrUtils;

type
  TForm1 = class(TForm)
    btn1: TButton;
    btn2: TButton;
    btn3: TButton;

```

```

btn4: TButton;
lbl15: TLabel;
medt1: TMaskEdit;
cht1: TChart;
fstlnsrsSeries11: TFastLineSeries;
cmprt1: TComPort;
cmdtpckt1: TComDataPacket;
fstlnsrsSeries10: TFastLineSeries;
btn5: TButton;
MaskEdit1: TMaskEdit;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
MaskEdit2: TMaskEdit;
Button1: TButton;
SaveDialog1: TSaveDialog;
Chart1: TChart;
Series1: TFastLineSeries;
Series2: TFastLineSeries;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Series3: TFastLineSeries;
Series4: TFastLineSeries;
procedure btn1Click(Sender: TObject);
procedure btn3Click(Sender: TObject);
procedure btn2Click(Sender: TObject);
procedure btn4Click(Sender: TObject);
procedure btn5Click(Sender: TObject);
procedure cmdtpckt1Packet(Sender: TObject; const Str: String);
procedure Button1Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  a1,a2,b0,b1,b2,t,dt : Extended;

```

```

x,posi,ind : integer;
tmp : array [1..10] of string;
coba : String;
sigref, sigerr, sigout, sigout2, sigout3, sigout4, sinyalCO, sinyalCOF,
sinyalNO, sinyalNOF, kadarCO, kadarNO : array[-10..100000] of
Extended;
AllData : String;
myFile1 : TextFile;

```

implementation

```
{ $R *.dfm }
```

```

procedure TForm1.btn1Click(Sender: TObject);
begin
  cmptr1.ShowSetupDialog;
end;

```

```

procedure TForm1.btn2Click(Sender: TObject);
begin
  if btn2.caption='Connect'then
  begin
    t:=0;
    x:=0;
    btn2.caption:='Disconnect';
    btn4.Caption:=' ';
    fstlnsrsSeries10.Clear;
    fstlnsrsSeries11.Clear;
    cmptr1.Open;
  end
  else
  begin
    btn2.caption:='Connect';
    cmptr1.WriteStr('a');
    cmptr1.Close;
  end;
end;

```



```

procedure TForm1.btn3Click(Sender: TObject);
begin
  cmprt1.WriteString('d');
  btn4.caption:=' ';
end;

```

```

procedure TForm1.btn4Click(Sender: TObject);
begin
  if btn4.caption=' ' then
  begin
    btn4.caption:=' ';
    cmprt1.WriteString('a');
  end
  else
  begin
    btn4.caption:=' ';
    cmprt1.WriteString('s');
  end;
end;

```

```

procedure TForm1.btn5Click(Sender: TObject);
begin
  Form1.Close;

end;

```

```

procedure TForm1.cmdtpckt1Packet(Sender: TObject; const Str:
String);
begin
  dt := 0.00016;
  coba:=Str;
  //program split
  posi:=1;
  ind:=1;
  while posi>-1 do
  begin
    posi := ansipos(', ',coba);
    if posi=0 then
    begin

```

```

    tmp[ind]:= coba;
    Break;
end;
tmp[ind]:= AnsiLeftStr(coba, posi-1);
coba:= AnsiRightStr(coba, length(coba)-posi);
ind:=ind+1;
end;
//berhenti disini
//sigref[x] := strtoint(tmp[0]);klo masih error coba yang ini
sigref[x] := strtfloat(tmp[1]);//edit nilai y disini
sigerr[x] := strtfloat(tmp[2]);//edit nilai y disini
sigout[x] := StrToFloat(tmp[3]);
sigout2[x] := StrToFloat(tmp[4]);
sigout3[x] := StrToFloat(tmp[5]);
sigout4[x] := StrToFloat(tmp[6]);

sinyalCO[x] := sigref[x];
sinyalCOF[x] := sigerr[x];
sinyalNO[x] := sigout[x];
sinyalNOF[x] := sigout2[x];
kadarCO[x] := sigout3[x];
kadarNO[x] := sigout4[x];

fstlnsrsSeries10.AddXY(t, sinyalCO[x]);
fstlnsrsSeries10.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
fstlnsrsSeries11.AddXY(t, sinyalCOF[x]);
fstlnsrsSeries11.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
Series3.AddXY(t, sinyalNO[x]);
Series3.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
Series4.AddXY(t, sinyalNOF[x]);
Series4.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
Series1.AddXY(t, kadarCO[x]);
Series1.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
Series2.AddXY(t, kadarNO[x]);
Series2.GetHorizAxis.SetMinMax((x-500)*dt,x*dt);
MaskEdit1.Text := FloatToStr(kadarCO[x]);
MaskEdit2.Text := FloatToStr(kadarNO[x]);

x := x+1;

```

```

t := t+dt;
medt1.text:=FloatToStr(x);
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    if (SaveDialog1.Execute = true) then
    begin
        AllData := SaveDialog1.FileName+'.csv';
        AssignFile(myFile1, AllData);
        if FileExists(alldata)then
        begin
            Append(myFile1);
        end
        else
        begin
            Rewrite(myFile1);
        end;
        Writeln(myfile1, 'Time', ',', 'Tegangan CO', ',', 'Tegangan CO dengan
Filter', ',', 'Tegangan NO', ',', 'Tegangan NO dengan Filter', ',', 'ppm CO',
',', 'ppm NO');
        for x:= 0 to (StrToInt(medt1.Text)-1) do
        begin
            writeln(myfile1, FloatToStr(x), ',', formatfloat('0.##',(sinyalCO[x])), ',',
formatfloat('0.##',(sinyalCOF[x])), ',',
formatfloat('0.##',(sinyalNO[x])), ',',
formatfloat('0.##',(sinyalNOF[x])), ',', formatfloat('0.##',(kadarCO[x])), ',',
formatfloat('0.##',(kadarNO[x])));
        end;
        CloseFile(myFile1);
    end;
end;
end.

```

Tampilan *interface* pada Delphi

Form1

Monitor Sinyal

3.2
3
2.8
2.6
2.4
2.2
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4

0

☒ Sinyal CO ☒ CO_Filtr ☒ Sinyal NO ☒ NO_Filtr

Monitor Kadar

0

0

☒ Kadar CO ☒ Kadar NO

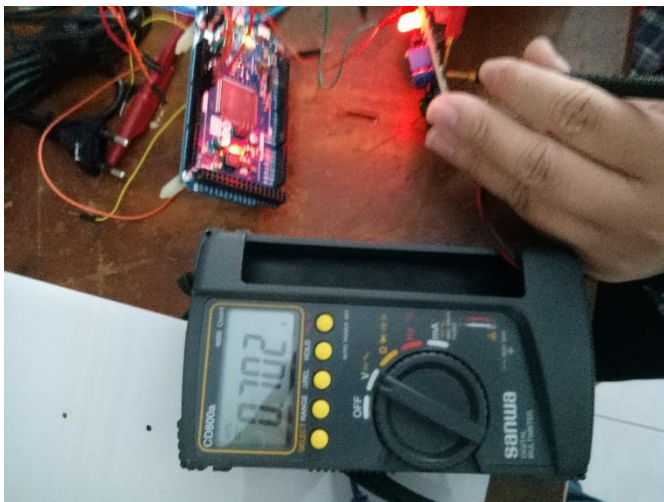
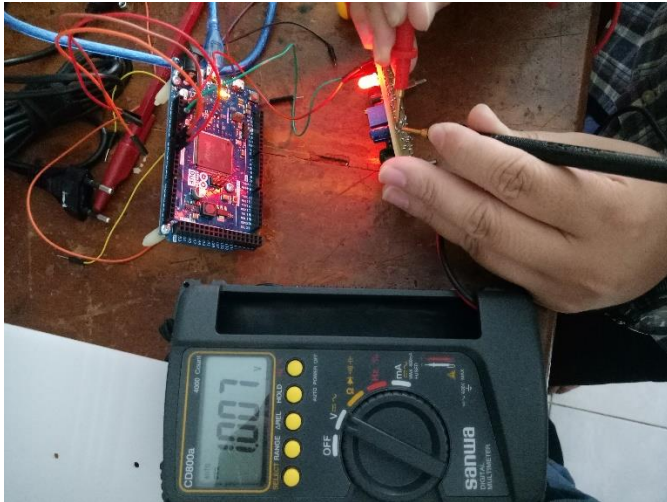
Data ke-:

Kadar CO: ppm

Kadar NO: ppm

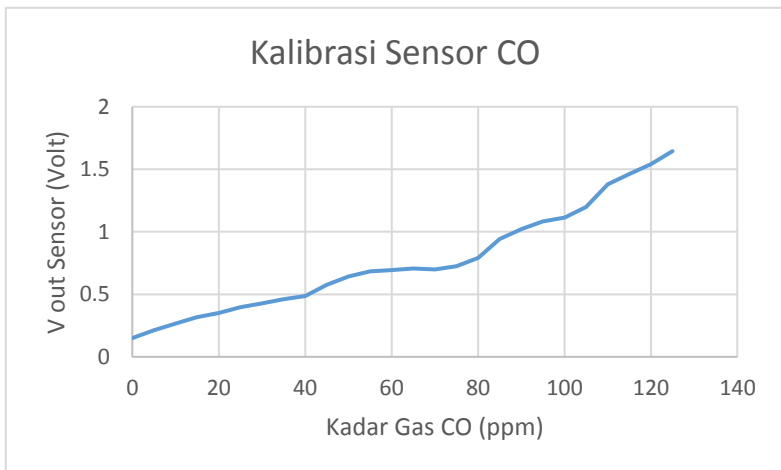
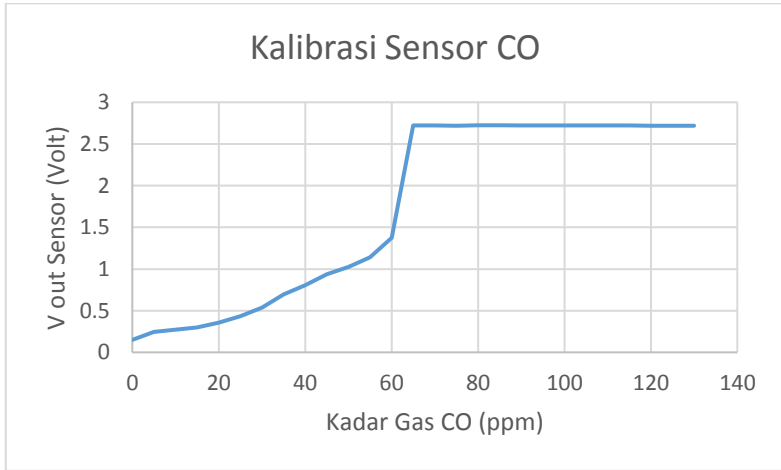
LAMPIRAN B

Pengujian Regulator Tegangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal



LAMPIRAN C

Grafik Kalibrasi Sensor



LAMPIRAN D

Pengambilan Sampel Polusi Udara dari Kendaraan Bermotor

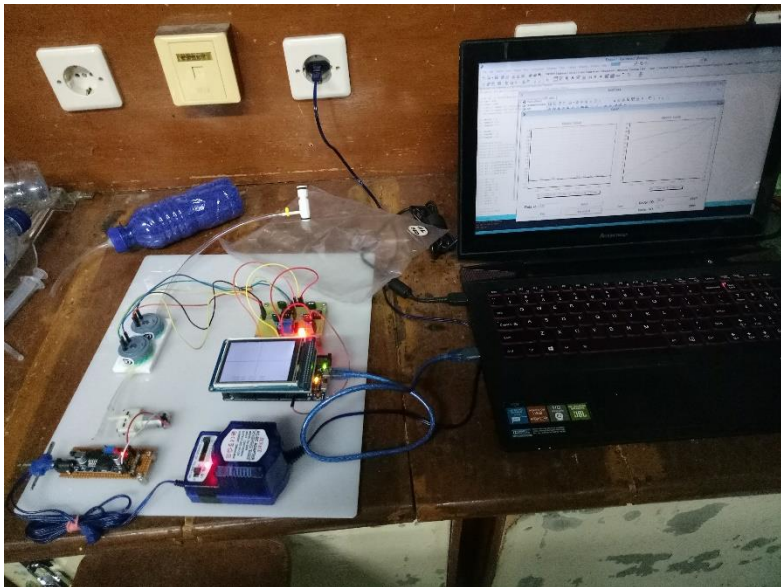


Pengambilan Sampel Subjek Perokok dan Bukan Perokok





Pengujian Sistem Sensor Gas Elektrokimia



RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama Andrianto, lahir di Surabaya pada tanggal 21 Januari 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar hingga pendidikan menengah atas di SMAK St. Louis I Surabaya. Pada tahun 2013, penulis memulai pendidikan di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah penulis aktif dalam Paduan Suara Mahasiswa, berbagai kepanitiaan event baik di dalam maupun luar jurusan, dan asisten Laboratorium Elektronika Dasar.

Email: andriantotjahjono@gmail.com